Las bóvedas de Guastavino en América


MINISTERIO DE FOMENTO

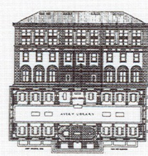

MINISTERIO DE EDUCACIÓN CULTURA Y DEPORTE



Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas



Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo



Instituto Juan de Herrera
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid

Instituciones organizadoras



SECRETARÍA DE ESTADO
DE INFRAESTRUCTURAS

DIRECCIÓN GENERAL
DE LA VIVIENDA,
LA ARQUITECTURA
Y EL URBANISMO



CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS Y
EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

CENTRO DE ESTUDIOS
HISTÓRICOS DE OBRAS
PÚBLICAS Y URBANISMO

Instituto
Juan de Herrera
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE ARQUITECTURA DE MADRID



Avery Architectural & Fine Arts Library,
Columbia University

Instituciones colaboradoras



SECRETARÍA DE ESTADO
DE CULTURA

DIRECCIÓN GENERAL
DE BELLAS ARTES
Y BIENES CULTURALES







VICERRECTORADO DE CULTURA

NIPO: 163-01-001-4

NIPO: 161-01-037-6
ISBN: 84-9728-007-5
Depósito Legal: M. 44.772-2001
Cubierta: Detalle de un folleto de propaganda de la empresa Guastavino (Archivo Guastavino, Avery Library)
Fotocomposición e impresión: EFCA

Las bóvedas de Guastavino en América



«Algunas cúpulas construidas por R. Guastavino Co». Dibujo publicitario mostrando las mayores cúpulas construidas por la compañía (ca. 1915). AVL

Las bóvedas de Guastavino en América

Libro publicado con ocasión de la exposición:
Guastavino Co. (1885-1962). La reinvención de la bóveda

Comisario de la exposición:
Javier García-Gutiérrez Mosteiro

Edición a cargo de:
Santiago Huerta

MINISTERIO DE FOMENTO

Ministro de Fomento:
Francisco Álvarez Cascos Fernández

Secretario de Estado de Infrestructuras:
Benigno Blanco Rodríguez

Director del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas:
Manuel L. Martín Antón

Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo:
Antonio de las Casas Gómez

Director General de la Vivienda la Arquitectura y el Urbanismo:
Fernando Nasarre y de Goicochea

Subdirector General de Arquitectura:
Gerardo Mingo Pinacho

INSTITUTO JUAN DE HERRERA
Presidente:
Ricardo Aroca Hernández-Ros

AVERY ARCHITECTURAL & FINE ARTS LIBRARY. COLUMBIA UNIVERSITY
Directora:
Ángela Giral
Conservadora de la Colección de Dibujos:
Janet Parks

GUASTAVINO CO. (1885-1962): LA REINVENCIÓN DE LA BÓVEDA
Museo de América. Madrid. 25 de octubre de 2001 – 6 de enero de 2002

Comisario
Javier García-Gutierrez Mosteiro

Coordinadores Científicos
Salvador Tarragó Cid
Santiago Huerta Fernández

Coordinación General
Laura Jack Sanz-Cruzado
Ángel González Santos

Documentación
Esther Redondo Martínez
Gema López Manzanares
Janet Parks

Diseño gráfico paneles
Carlos Bustos

Realización paneles
IBC, Impresión y acabados
Infoshop, Fotomecánica

Montaje
Trestintas S.L.

Programa de archivo gráfico
Ingra S.L.

Proyecto de Montaje
Ana Rodríguez García
Rafael Hernando de la Cuerda

Transporte
Masterpiece International
TTI S.L.

Seguros
Aon Gil y Carvajal

La Exposición a la que corresponde este Catálogo versa acerca de las bóvedas construidas por el arquitecto español Rafael Guastavino y su hijo, en los Estados Unidos de América, entre los años 1885 y 1962. Se trata de uno de los episodios más singulares e interesantes de la historia de las técnicas constructivas.

En los últimos años del siglo XIX, Guastavino *exportó* a América el sistema de bóvedas tabicadas, que se habían venido empleando en España en los últimos seis siglos con un inesperado éxito. La inteligencia, iniciativa y capacidad de trabajo de Rafael Guastavino consiguió algo que hubiera parecido imposible: que se aceptara en un brevísimo espacio de tiempo una nueva técnica de abovedar. Realizó ensayos, escribió libros y artículos, estudió la organización constructiva americana y, sobre todo, supo vender el aspecto de incombustibilidad de la construcción tabicada.

Los Guastavino realizaron más de mil importantes construcciones abovedadas en Norteamérica; revolucionaron el panorama constructivo que allí habían encontrado y colaboraron estrechamente con los más destacados arquitectos del momento. Así y todo, la figura de los Guastavino no parece haber ocupado en la historia el lugar que merece.

Esta Exposición muestra en qué medida las bóvedas de Guastavino en América constituyen un más que interesante capítulo de la historia de la arquitectura y la construcción en general y permitirá sentar un firme punto de partida para nuevos estudios sobre esta materia. Es de esperar que esta iniciativa contribuya a un aumento del conocimiento y de la valoración de las técnicas constructivas que han permitido la formación de nuestro Patrimonio Histórico Cultural, no sólo en arquitectura sino también en ingeniería y obras públicas.

Manuel Martín Antón
Director General del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas

El empeño que el Ministerio de Fomento, a través de la Dirección General de la Vivienda, la Arquitectura y el Urbanismo siempre ha puesto en establecer una política de intensa enseñanza de la arquitectura entre sus programaciones públicas y culturales, ha logrado que no sólo los más importantes nombres de la arquitectura contemporánea hayan mostrado sus trabajos en los espacios expositores de su Sala, la Arquería de los Nuevos Ministerios, sino también que una serie de importantes investigaciones en el terreno de la arquitectura llevada a cabo por otros tantos nombres fundamentales han tenido cabida y difusión en el territorio de este lugar específico de exhibición.

Y lo han hecho, asimismo, expandidos en otros ámbitos culturales de la arquitectura, colegios profesionales, museos, centros de arte, fundaciones, pero bajo el apoyo constante del Ministerio en llevar a cabo esa política en defensa del conocimiento de la arquitectura y su extremada importancia en las relaciones sociales.

Casos como las bóvedas de Félix Candela, las casas pintadas de Casadeval, los huesos de Miguel Fisac, las estructuras móviles de Santiago Calatrava, los expresionismos cromáticos de Luis Barragán, los gestos minimalistas de Tadao Ando, son ejemplos de esta conducta divulgativa. En esta ocasión un arquitecto valenciano, afincado y reconocido en Estados Unidos, Rafael Guastavino Moreno y su hijo, o mejor los Guastavino, nos ofrecen su enorme aportación a las construcciones abóvedas. Todo un largo y extraordinario repertorio en ese tipo de solución arquitectónica entre dos muros o entre varios pilares.

La aportación de Guastavino a los procesos constructivos significó un especial adelanto y una importantísima legación a las modernas edificaciones tanto en los sistemas de estabilidad, como en la versatilidad de sus incorporaciones. La evolución de las bóvedas planteadas por la familia Guastavino (indiscutible el papel desempeñado por su hijo en la compañía creada por ellos en 1889 la Guastavino Fireproof Construction Company) valió para que gran parte de las edificaciones del progreso arquitectónico estadounidense llamaran a las puertas de este arquitecto para aplicar en sus armaduras compositivas las bóvedas «guastavinas». Un ejercicio que estudió y activó en la gama más amplia de la resistencia, seguridad y acústica de los materiales, siempre en vanguardia, para la conformación de los levantamientos abovedados bien cilíndricos, por arista, vaídos, neogóticos, o cúpulas, escaleras o composiciones múltiples. Un volumen que se describe en letras mayúsculas en trabajos como los descritos en la Biblioteca Pública de Boston, St Paul Chapel en la Universidad de Columbia, la Saint John the Divine Catedral de Nueva York; o toda esa otra narrativa abierta durante su estancia en Cataluña coincidiendo con el período del crecimiento textil en la zona el Teatro Vilassarenc, en Vilassar de Dalt (Barcelona).

Las conformaciones formales de los abovedamientos de los «guastavino» resistieron todo tipo de lenguajes arquitectónicos y supieron engrandecer aún más, si cabe, todo una larga manifestación expresiva desde las formulaciones constructivas de las bóvedas, tanto en sus referentes a estilos pasados, como los edificios del futuro, a primeros del siglo XX, experimentados por unos Estados Unidos en auge socioeconómico.

Una muestra muy completa de la obra de esta familia, con dibujos originales, piezas cerámicas, así como objetos de la colección Guastavino de la Avey Architectural & Fine Arts Library, realizada gracias a la intervención del Instituto Juan de Herrera, el CEDEX y CEHOPU, la Avery Architectural & Fine Arts Library de la Universidad de Columbia, Nueva York, la la Generalitat de Catalunya, la Universidad Politécnica de Valencia, y al museo de América de Madrid, que es donde tendrá lugar la celebración de esta exposición.

Fernando Nasarre y de Goicoechea
Director General de la Vivienda, la Arquitectura y el Urbanismo
Ministerio de Fomento

La colaboración del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte en la exposición itinerante «Guastavino Co. 1885-1962. La reinvención de la bóveda» parte —a través de la Subdirección de Promoción de las Bellas Artes— de la circunstancia de que su inauguración y exhibición en Madrid, en el otoño de 2001, se realice en el Museo de América.

La razón de pensar en esta Casa como primera sede de la exposición obedece —como el comisario de la misma ha apuntado— a dos razones convergentes. La primera de ellas es la explícita referencia a América; reside la exposición en el relato de un singular y llamativo *viaje* americano —a lo largo de la arquitectura moderna de los EEUU, desde finales del siglo XIX hasta bien mediado el XX— de una práctica vernácula enraizada en la tradición constructiva española.

La segunda razón mira directamente a la peculiar y sorprendente arquitectura del Museo, una de las más destacadas obras realizadas en España con el sistema constructivo de bóvedas tabicadas: la técnica, precisamente, que protagoniza la exposición. El Museo de América, obra del gran arquitecto Luis Moya Blanco, fue realizado durante la autarquía de los años cuarenta, cuando —debido a las dificultades de obtención regular de hierro y cemento— muchos arquitectos se vieron obligados a recuperar los tradicionales oficios de albañilería; entre esos arquitectos fue Luis Moya quien —retomando, en *viaje de vuelta*, la experiencia de Guastavino— se entregó al procedimiento de bóvedas tabicadas con mayor fruición, desarrollándolo hasta los años setenta, mucho más allá de las iniciales condiciones de penuria, y escribiendo un brillante capítulo en la historia de la arquitectura española del siglo XX.

Joaquín Puig de la Bellacasa Alberola
DIRECTOR GENERAL DE BELLAS ARTES Y BIENES CULTURALES
MINISTERIO DE EDUCACIÓN, CULTURA Y DEPORTE

Una de las líneas de trabajo más características del Instituto Juan de Herrera se centra en una materia que conoce últimamente un renovado vigor: la Historia de la Construcción; la idea de organizar una exposición sobre las bóvedas de Guastavino en América se inscribe expresivamente en este marco.

El desarrollo en los Estados Unidos del Sistema Guastavino, modernizando un sistema constructivo tradicional en el ámbito mediterráneo e implantándolo —con inopinado éxito — en un contexto por completo diferente, articula de manera muy significativa los múltiples aspectos que caracterizan un complejo proceso constructivo; define con precisión un capítulo muy notable de la Historia de la Construcción, que, sin embargo, no es suficientemente conocido ni valorado.

En la exposición *Guastavino Co. (1885-1962). La reinvención de la bóveda*, que se recoge en este libro- catálogo, subyace por tanto —como indica su comisario en la presentación — una cierta vindicación de un nombre que se nos aparece difuminado en el panorama de la arquitectura americana de las últimas décadas del XIX y buena parte del XX. Ha comportado una amplia tarea de documentación que, lejos de pretender cerrar el campo de investigación, quiere servir de punto de partida a nuevos estudios y acercamientos a la figura de los Guastavino.

El Instituto Juan de Herrera agradece al CEHOPU, al Ministerio de Fomento, a la Avery Architectural and Fine Arts Library de la Universidad de Columbia —que hace algunos años ya emprendió la tarea de difusión del Legado de Guastavino — y al Ministerio de Cultura la labor realizada; así como la colaboración de la Generalitat de Cataluña y de la Universidad Politécnica de Valencia.

Ricardo Aroca Hernández-Ros
PRESIDENTE DEL INSTITUTO JUAN DE HERRERA

El impacto de España y la cultura española en América es bien conocido en los países que quedan al sur del Rio Bravo, pero no así en los Estados Unidos, con excepción tal vez de Florida y California, que en un tiempo fueron parte de la Nueva España.. Hace aproximadamente un siglo este impacto se hacía sentir en la arquitectura —Stanford White construye una réplica de la Giralda en su Madison Square Garden en 1887, Jose Maria Sert pinta retratos de la alta sociedad neoyorquina asi como murales en Rockefeller Center y el Waldorf Astoria en los años treinta, José Francisco Navarro, hombre de empresa, se hace millonario, construye casas de apartamentos en Nueva York y preside sobre la fábrica de cemento Portland, que surte el cemento para la construcción del canal de Panamá..

Pero sin duda nadie tuvo tanta influencia como Rafael Guastavino y Moreno, cuyo nombre ha quedado ligado para siempre a las bóvedas tabicadas, habiendo perfeccionado su construcción fortaleciéndolas con cemento Portland. Estimulado por haber recibido un premio (in absentia) por su participación en la exposición internacional de Filadelfia, *Improving the Healthfulness of Industrial towns,* decide establecerse aquí y cruza el Atlántico en 1881. Valenciano de nacimiento, egresado de la Escuela de Aparejadores de Barcelona, aspira a ejercer la profesión de arquitecto.

Una de sus primeras obras en Nueva York es una sinagoga de estilo morisco, muy en boga en aquella época, combinación que no debe sorprender en el crisol de América. Es un empresario judío, Bernard S. Levy, quien le encarga la construcción de una fila de casas en la calle 78 West, en una zona de ampliación urbana favorecida por la construcción del metro elevado de la novena avenida (a la que también contribuyó el cemento de la fábrica de Navarro). Es en estas casas unifamiliares en las que Guastavino introduce por primera vez las bóvedas tabicadas que perfecciona mas adelante y propaga a través de su *Guastavino Fireproof Construction Company.* La introducción de un método de construcción a prueba de fuego es oportuna, pues sigue a los incendios que destruyeron gran parte de las principales ciudades norteamericanas (Nueva York, 1835; Chicago, 1871; Boston, 1872) dado a la costrucción en madera que predominaba entonces.

La *Avery Library* se fundó en 1890 como monumento vivo a un hijo fallecido antes de madurar como arquitecto, Henry Ogden Avery. Henry Avery no dejó mas que una casa construída, curiosamente para Stuart Woodford, que había sido embajador en España. Sí dejó, sin embargo, una espléndida colección de libros clásicos sobre arquitectura. Utilizando la colección de su hijo como piedra clave, Samuel Putnam Avery decide crear una biblioteca de investigación en arquitectura y afiliarla con la universidad Columbia. Unos años después, el hermano mayor, del mismo nombre que el padre, cona fondos suficientes para construír un edificio especial para la biblioteca en el nuevo campus de Columbia, edificio que hoy compartimos con la Escuela de Arquitectura.

Desde su fundación, pues, la arquitectura ha sido el núcleo de la *Avery Library.* La arquitectura entendida ampliamente, de forma que abarca las "artes aliadas," como las llama el viejo Avery en su carta de donación a la universidad, tales como la escultura, la pintura, la arqueología, las artes decorativas y la construcción. Fué Georges Collins, autor de libros sobre Gaudí y la Ciudad Lineal, quien primero se interesó por investigar los orígenes y métodos de las bóvedas Guastavinas y se puso en contacto con la compañía, que aún existía en 1961. Gracias a los esfuerzos e interés del profesor Collins, al disolverse la compañía en 1963 decidieron donar el archivo a Columbia. Mientras Collins ejerció en Columbia, lo mantuvo en su oficina como centro de su "Catalan Archive of Art and Architecture at Columbia University". Al jubilarse en 1988 decidió traspasarla a la biblioteca Avery. Hoy en día la colección Guastavino-Collins es una de las más consultadas en la sección de archivos, planos y dibujos que dirije Janet Parks, bajo cuya supervisión se ha elaborado un detallado índice que facilita su acceso.

Me satisface enormemente que Guastavino, al fin y al cabo mi compatriota, vuelva a España bajo los buenos auspicios del CEDEX, del CEHOPU, del Instituto Juan de Herrera y de la Dirección General de la Vivienda, la Arquitectura y el Urbanismo del Ministerio de Fomento.

Angela Giral, Directora
AVERY ARCHITECTURAL AND FINE ARTS LIBRARY
COLUMBIA UNIVERSITY IN THE CITY OF NEW YORK

Índice

Guastavino Co. La reinvención de la bóveda

Javier García-Gutiérrez Mosteiro
Comisario de la Exposición

En octubre de 1871, poco después de levantar las innovadoras bóvedas de la fábrica Batlló en Barcelona y diez años antes de partir para los Estados Unidos, Guastavino fue invitado por la familia Muntadas a visitar su posesión del Monasterio de Piedra. Allí, al descubrir la *bóveda* natural de la gruta de «Cola de Caballo», recordó algo que su profesor de construcción, Juan Torras, le había enseñado tiempo atrás: que el arquitecto del futuro construiría —como método más racional, perdurable y económico— siguiendo el ejemplo de la naturaleza; «esta gruta es en realidad una colosal muestra de la construcción cohesiva ¿por qué —se preguntaba entonces Guastavino— no hemos construido con este sistema?».

La defensa teórica —y aun podríamos decir *filosófica*— que Guastavino llegaría a hacer de la por él llamada «construcción cohesiva» —y, por extensión, de la albañilería— como procedimiento *cargado* de futuro se apoyaría, desde luego, en sus escritos y estudios técnicos (recordemos sobre todo su *Essay on the Theory and History of Cohesive Construction* —1892— y el expresivo título —*Cohesive Construction. Its Past, its Present, its Future*— de su ponencia en el Congreso de Arquitectos habido con ocasión de la Exposición Colombina de Chicago en 1893); pero descansaría de manera privilegiada —y portentosa— en la producción real de grandes bóvedas mediante construcción tabicada.

Contraponiendo al tradicional abovedamiento «por gravedad» —cuya mecánica se confiaba a la estabilidad de dovelas independientes— el sistema «cohesivo» u «orgánico» —en que el mortero había de representar un nuevo y fundamental papel—, esgrimía Guastavino este procedimiento como más adecuado a la construcción de su tiempo, llegando a afirmar que —con el progreso de los nuevos morteros y su rápida capacidad de fraguado— la albañilería cohesiva en ladrillo llegaría a ser el material del futuro. Quedan sus obras, sus admirables bóvedas cerámicas —construidas en paralelo al primer desarrollo de la técnica del hormigón—, como ilustración elocuente de su convencimiento.

Guastavino, nombre que queda indeleblemente ligado a las bóvedas tabicadas, avanzó un nuevo capítulo en la larga historia del construir bóvedas ligeras o levantadas *en el vacío*; partió de una práctica constructiva tradicional en el ámbito mediterráneo para modernizarla, por incorporación de nuevos materiales y procedimientos, y llevarla —en muy otras condiciones geográficas, sociales y técnicas— a unos insospechados horizontes.

Es recurrente, pues, al tratar del sistema constructivo de bóvedas tabicadas, la referencia a Rafael Guastavino y la experiencia que, a caballo de los siglos XIX y XX, llevó a cabo en los Estados Unidos, referencia que apunta siempre una descollante —y atractiva— aventura constructora. Pero ¿en qué residió esa *aventura*?, ¿qué motivos le indujeron a arriesgar la sólida posición profesional que había logrado en Barcelona y emigrar a América?, ¿cómo se deslinda la tarea emprendida por Rafael Guastavino Moreno y la desarrollada por su hijo, Rafael Guastavino Expósito?; ¿arquitectos, empresarios, propagandistas, *in-*

ventores?; ¿qué aportaron a la práctica vernácula de la bóveda tabicada?; ¿cuánta —y cuál— fue su obra?; ¿en qué términos se dio la relación profesional con los arquitectos americanos con los que cooperaron?; ¿cuál la razón del fulminante y sostenido éxito de la *Guastavino Company*?)... y la de su posterior olvido? Preguntas como éstas, que pueden parecer de intencionada retórica, permanecen abiertas y apetecibles a cuantos, desde distintos campos, puedan acercarse al fenómeno conocido como *Guastavino System*, el episodio —tan destacable en la Historia de la Construcción— de las *bóvedas de Guastavino* en América.

Los Guastavino, *extrapolando* los principios de una construcción característica en la cultura popular catalana, realizaron más de mil importantes construcciones abovedadas en Norteamérica —varios centenares de ellas en Nueva York—; revolucionaron el panorama constructivo que allí habían encontrado, proponiendo un eficaz sistema incombustible (en 1885 —todavía viva la impresión del gran incendio de Chicago— ya había registrado Guastavino una patente con el título «Construction of Fireproof Buildings»); colaboraron estrechamente con los más destacados arquitectos del momento y levantaron sus bóvedas —en una incesante investigación en torno al binomio construcción/generación formal— en buena parte de los más significantes edificios de muchas décadas en los EEUU, desde las catedrales de *revival* medievalista hasta los grandes y modernos vestíbulos de los rascacielos.

Así y todo, la figura de los Guastavino no ha ocupado el lugar que merece en la Historia de la Construcción. George R. Collins, el gran estudioso —y, podríamos decir, *reivindicador*— de los Guastavino señalaba en qué modo no deja de ser curiosa la poca atención que se ha prestado a este singular episodio de la construcción abovedada, toda vez que, precisamente por el hecho de contener *bóvedas de Guastavino* como principal —si no único— efecto espacial, es por lo que muchos de los edificios construidos entre los años 80 del siglo XIX y los que median el XX han sido incluidos en las más exigentes selecciones de arquitectura en los Estados Unidos.

No se nos oculta la calidad arquitectural de los espacios creados por los Guastavino, calidad acaso más destacable —entre las frecuentes construcciones *falseadas* que se daban en el momento— por el orden y dignidad que la buena construcción —la razón constructiva— otorga a la arquitectura; resulta curioso, por tanto, comprobar —como hemos tenido ocasión de hacer en el proceso de documentación bibliográfica de esta exposición— en qué ínfima medida aparecen referencias concretas a los Guastavino en las publicaciones técnicas que trataban, profusamente, de las construcciones por ellos levantadas: su nombre queda tapado, tantas veces, tras los de los grandes arquitectos con los que cooperaron.

Algo tiene esta exposición, pues, de vindicación de un nombre que, por lo general, y en el mejor de los casos, queda asociado difuminadamente a un arquitecto que, a finales del XIX, construyó con *bóvedas catalanas* en Nueva York... Un nombre que, como el propio título de la exposición ha querido hacer explícito, va más allá del individuo y se extiende a la *revolución* por él iniciada: el llamado *Guastavino System*, la larga y anchurosa aventura de una empresa que sobreviviría en mucho a su fundador y que, aglutinando muchos esfuerzos personales, llevaría a cabo una enjundiosa y bien caracterizada producción arquitectónica.

¿La reinvención de la bóveda? La eclosión de las *bóvedas de Guastavino* en América fue inesperada *reinvención* de un procedimiento que, aun bebiendo en fuentes allende el océano, llegó a constituir, con continuos aditamentos y mejoras —modernizado y militantemente abierto al porvenir—, un sistema propio y característico. El instinto constructor de Guastavino descubrió una manera de concebir espacios abovedados, nunca vista en EEUU; un *invento* que iría, por otra parte, mucho más allá de lo hasta entonces conocido en España y que —en *viaje de vuelta*, en los años de autarquía que siguieron a la Guerra Civil— alcanzaría también aquí destacadas consecuencias.

No es propósito de esta exposición, desde luego, el recorrer exhaustivamente las múltiples caras de la producción de los Guastavino; no hemos pretendido hacer un trabajo *definitivo* sobre sus bóvedas y su pensamiento: más bien, y con ello nos damos por satisfechos, propiciar un firme punto de partida para nuevos estudios sobre la materia. La labor de documentación que la ha hecho posible —reunida en este libro—catálogo— ha recopilado obras, datos, análisis y bibliografía, incluyendo antecedentes de la cons-

trucción tabicada y, también, significativos epígonos; de esta manera se ha querido constituir un cuerpo que siente el estado actual de conocimientos y, a la vez, muestre campos todavía abiertos a la investigación.

Sí persigue la exposición el reflexionar acerca de lo que entendemos un episodio bien definido y expresivo de la Historia de la Construcción; un decurso que abarca las variopintas variables de un proceso productivo complejo y que, celosamente acotado a la esfera de los Guastavino, se perfila con nitidez en el espacio y el tiempo. La *Guastavino Fireproof Construction Company*, constituida poco después de la llegada de Guastavino a Nueva York y no liquidada —muertos ya padre e hijo— hasta bien mediado el siglo XX, ejerció un progresivo control sobre todas las fases del proceso constructivo: ideó y proyectó —cooperando estrechamente con las primeras firmas de arquitectos del momento en Estados Unidos— asombrosos edificios abovedados, y construyó materialmente una enorme variedad de tipos y formas; llevó a cabo un riguroso seguimiento del comportamiento estructural de las bóvedas tabicadas, con especial atención a su característica resistencia al fuego (concepto éste que, recogido en el propio título denominativo de la compañía, fue hábilmente esgrimido por Guastavino desde su llegada a Nueva York); promovió la invención de nuevos materiales cerámicos para sus bóvedas, alcanzando —como en sus trabajos con el prestigioso profesor Sabine, sobre materiales acústicos— una investigación de alto nivel científico; fundó su propia planta de fabricación de ladrillos, para conseguir las condiciones de distribución y puesta en obra que su sistema requería; salvaguardó legalmente la propiedad de materiales y procedimientos; se supo publicitar con una decisiva actividad propagandística, y acreditarse mediante estudios teóricos y concluyentes ensayos técnicos; procuró una adecuada capacitación de la mano de obra; y, contando con William y Malcolm Blodgett —también padre e hijo— como gestores financieros de la empresa, logró una eficaz política comercial, que sobrevivió a tiempos de depresiones económicas que otras compañías no lograron vencer. Factores todos ellos que nos ayudan a explicar las razones de por qué Guastavino —partiendo casi de la nada al arribar a Nueva York— logró alcanzar tan resonante y feliz resultado.

La *Guastavino Company* , aun abierta siempre a continuas innovaciones formales y técnicas, mantuvo a lo largo de su trayectoria una bien definida personalidad: su significación residió estrictamente en la construcción de bóvedas tabicadas, cuyo monopolio llegó a ejercer de hecho en los Estados Unidos. Cabe definir tres períodos en su existencia: desde su fundación en 1889 hasta la muerte de Guastavino Moreno, en 1908; la dirección de Guastavino Expósito, hasta 1943 (etapa en que éste, partiendo de un sistema constructivo ya plenamente consolidado y contrastado, lo desarrolla en nuevos tipos arquitectónicos e introduce significativas mejoras estructurales —como la incorporación de armaduras metálicas en el tendido de las hojas de ladrillo—, interesándose por aspectos complementarios como los acabados polícromos de cerámica vidriada y, sobre todo, los materiales de acondicionamiento acústico); y un último período —presidido por A.M. Bartlett— hasta su liquidación en 1962 (decadencia que correría en paralelo al incremento del coste de mano de obra de albañilería y al perfeccionamiento y desarrollo de la técnica del hormigón armado, que posibilitaba ya competitivas bóvedas-membranas).

La labor desarrollada por la *Guastavino Co.* a lo largo de setenta años, lejos de restringirse a un quehacer de contratación de obras y dominio de patentes, ha de juzgarse como esencialmente *arquitectónica*, determinante en la generación espacial y formal de los edificios. La necesaria conformación del espacio arquitectónico que conlleva el sistema abovedado hace que, en tantos casos, no se pueda tratar por separado la forma de la construcción; se hace interesante, así, el estudiar la relación entre la compañía de Guastavino y los equipos de arquitectos con los que colaboró.

El sistema de Guastavino ofrecía una copiosa fuente de recursos formales y espaciales, posibilitando una creativa relación —proclive a la experimentación y busca de las distintas posibilidades técnicas y expresivas— con la personalidad de cada arquitecto (con firmas como McKim, Mead and White exploraría, durante largos años de colaboración, muy disímiles organizaciones constructivas y estructurales; con autores como Henry Hornbostel alcanzaría un máximo sentido innovador en la generación y articulación de superficies; con equipos como Cram, Goodhue and Ferguson, particularmente interesado en las condicio-

nes de revestimiento de las bóvedas, demostraría la capacidad plástica y acústica de los distintos materiales que ofertaba el sistema...).

Si la estética arquitectónica que imperaba en Nueva York a la llegada de Guastavino favoreció el éxito de sus formas abovedadas, ligadas en mayor o menor medida a lenguajes pretéritos, no es menos cierto que el sistema de Guastavino supo atenerse a las nuevas tendencias formales y, en muchos casos, propició un moderno lenguaje dictado expresivamente por la sinceridad constructiva. En la obra de Guastavino es protagonista, en cualquier caso, el discurso de la construcción: nada tiene de extraño que —como afirma en su *Prolegómenos*— tuviera en tal alta consideración la determinista lógica constructiva de su estricto contemporáneo Choisy.

Parte la exposición, como base introductoria, de la andadura catalana de Guastavino, desde el comienzo de su carrera profesional (1866) hasta su traslado a Nueva York (1881); el nombre de Rafael Guastavino caracteriza —fundamentalmente con el paradigma de la fábrica Batlló— lo que podríamos llamar período de constitución de la bóveda tabicada moderna: ese momento, habido en la Cataluña que iniciaba el último tercio del XIX, en que la incorporación de nuevos materiales y nuevos planteamientos tipológicos y funcionales iba a transformar en contemporáneo sistema constructivo una práctica —y una sabiduría— que echaba raíces en la historia.

El grueso de la exposición se centra en las bóvedas de Guastavino en América, lo que allí se conoció —y se conoce— como el *Guastavino System*; la inopinada revolución constructiva que alcanzó a casi todos los estados del país, con especial profusión en la costa este, y que cristalizó en todo tipo de edificios (administrativos, religiosos, deportivos y de ocio, comerciales, académicos, estaciones, industriales, de oficinas, residenciales...). Muestra en qué medida las bóvedas de Guastavino en América —ligadas, efectivamente, a muchas de las mejores arquitecturas del momento— constituyen un destacable capítulo en la historia de la arquitectura y la construcción.

Trata una primera sección del desarrollo de la empresa, abrazando sus múltiples extensiones: fundación y organización de la compañía —tras los primeros intentos de Guastavino, a su «encuentro» con Nueva York, de optar por el ejercicio profesional de la arquitectura—; labor de investigación y registro en patentes de nuevos materiales y procedimientos constructivos (también la fabricación propia de elementos); política comercial y publicitaria, junto a la difusión científica de las teorías de Guastavino Moreno; métodos de cálculo, ensayos de resistencia y marcha del proceso constructivo.

La segunda sección intenta ofrecer un panorama elocuente, necesariamente sintético, de la múltiple variedad y diversidad formal de las bóvedas de Guastavino. Frente a otras posibles criterios de clasificación —cronológico, por tipo de edificios...— nos ha parecido como más acertado, y abierto a la extracción de conclusiones, el que atiende a la generación formal-constructiva de las bóvedas; la importancia del proceso constructivo en la concepción de este tipo de superficies abovedadas hace particularmente eficaz el paralelo entre formas que obedecen a una misma razón geométrico-constructiva: creemos que el ver juntas y poder comparar entre sí las bóvedas neogóticas —tomemos por caso— propicia una más clara didáctica que yuxtaponer éstas —siguiendo el ejemplo— a las bóvedas esféricas o cilíndricas de otros tantos casos.

Una última sección se centra, como encuentro más directo —y más global— con la realidad arquitectónica y constructiva, en tres significativos edificios de su trayectoria: la Biblioteca Pública de Boston (1889), la primera gran obra del *Guastavino System* —verdadero punto de inflexión—, con la que inició su difusión a gran escala (a raíz del éxito de esta obra fue invitado a impartir unas conferencias en el Massachussets Institute of Technology, que más tarde serían recogidas en su *Essay...*) y con la que inició, también, la que sería prolífica cooperación con la reputada firma de arquitectos McKim, Mead and White; la St. Paul Chapel del campus de la Universidad de Columbia (1907), obra —realizada en estrecha colaboración con los arquitectos Howells y Stokes— muy expresiva de las posibilidades tectónicas y formales del sistema de los Guastavino, y que marca la transición entre las etapas del padre y del hijo; y, en tercer lugar, la gran bóveda de la catedral de St. John the Divine en Nueva York (1909), la mayor cúpula —con sus casi treinta metros de luz— construida por la compañía.

En el catálogo, coordinado por el profesor Santiago Huerta, se ha reunido un buen número de textos, que abarcan distintas perspectivas sobre las bóvedas de Guastavino; parte de ellos han sido escritos ex profeso, y otros han sido traducidos de otras lenguas (entre ellos, «The Transfer of Thin Masonry Vaulting from Spain to America», que el profesor Collins publicara en 1968, fuente fundamental de la que hemos bebido cuantos nos hemos querido acercar a la figura de Guastavino). Se incluyen también —considerablemente ampliados con otros documentos— los materiales que integran la exposición, ofreciendo un amplio registro del valor documental del *Archivo Guastavino* que se custodia en la Universidad de Columbia. Ha presidido esta recopilación la idea de ofrecer un cuerpo coherente sobre la obra de los Guastavino y, complementariamente, sobre la práctica histórica y moderna de la construcción tabicada; nada pretende cerrar esta publicación sino, muy otramente, abrirse —como ya queda dicho— a ulteriores investigaciones.

Debo por último reconocer que esta exposición y este libro que la recoge obedecen a un estrecho trabajo de equipo, en el que ha sido inestimable la aportación de Santiago Huerta y Salvador Tarragó, como coordinadores científicos, y la de Esther Redondo y Gema López Manzanares, como documentalistas. Debo también consignar la labor desarrollada por Laura Jack, como coordinadora; así como la cooperación que, en todo momento, nos ha brindado la Avery Architectural and Fine Arts Library de la Universidad de Columbia, y su directora Ángela Giral. Janet Parks, Dan Lane, Carlos Bustos, Ana Rodríguez, Rafael Hernando, José Antonio García Ares, Ignacio Javier Gil Crespo, John A. Ochsendorf, Xavier Fabré y Elena Delgado nos han ayudado también en muchos aspectos.

He de agradecer así mismo las facilidades prestadas por la Biblioteca Nacional, la Cátedra Gaudí —y su director, Juan Bassegoda—, las bibliotecas de las Escuelas de Arquitectura de Barcelona y Madrid, y el Museo de América (sede de la exposición inaugural en Madrid y que, junto a la referencia a la aventura «americana» de Guastavino, se incorpora de algún modo a la exposición: por cuanto es una de las más destacadas obras realizadas en España con el sistema de bóvedas tabicadas, recogiendo su autor —Luis Moya— el testigo de Guastavino). Y referirme, en fin, al apoyo decidido de Ricardo Aroca —presidente del Instituto Juan de Herrera—, Antonio de las Casas —director—gerente del CEHOPU—, y Gerardo Mingo —Subdirector General de Arquitectura del Ministerio de Fomento—; también la colaboración recibida del Ministerio de Cultura, la Generalitat de Cataluña y la Universidad Politécnica de Valencia.

Prólogo del editor

Santiago Huerta

El presente libro no se ajusta al tipo habitual de catálogo de una exposición. No lo es, aunque incluye un registro del contenido de los paneles. Más bien, lo que se ha pretendido es editar un libro que ponga el tema de la exposición, la obra de los Guastavino, en un contexto académico. Se ha intentado que el lector pueda tener en sus manos el «estado del arte» sobre la obra de Guastavino dentro del contexto de la construcción tabicada. Para ello, se han seleccionado ensayos de algunos de los mejores especialistas. Unos ya habían sido publicados, otros aparecen ahora por primera vez y han sido escritos para esta ocasión. El lector atento descubrirá, a pesar del esfuerzo académico que aquí se recoge, que existen todavía lagunas, que hay todavía una tarea que hacer tanto sobre los Guastavino como sobre la técnica tabicada.

En el caso de Guastavino, la labor de investigación es difícil pues trabajó principalmente de constructor para numerosos arquitectos. Como ha señalado Janet Parks, los futuros avances implicarán, necesariamente, la investigación documental sobre los arquitectos en cuestión. Una investigación completa requerirá muchas monografías particulares sobre edificios y arquitectos concretos, y será la obra de varias personas.

En cuanto a la investigación sobre la técnica tabicada, ésta ha estado dificultada por dos motivos. Por un lado, se ha realizado con frecuencia dentro de marcos geográficos limitados. Así, se conoce muy bien la construcción tabicada en Cataluña, bastante bien en Extremadura, y el conocimiento es prácticamente nulo en el resto de España donde, no obstante, existen innumerables ejemplos. En Francia, salvo en la parte del Rosellón, apenas se ha investigado el tema, pero hay indicios (ensayos estructurales de gran tamaño, por ejemplo) que hacen presumir que tuvo difusión e importancia durante el siglo XIX. La investigación sobre los orígenes y difusión de la construcción tabicada sólo avanzará cuando se considere un ámbito más amplio, supranacional, seguramente mediterráneo.

Por otro lado, a partir del siglo XVIII, se han considerado con frecuencia las bóvedas tabicadas como esencialmente distintas, desde un punto de vista mecánico, de las de piedra o rosca de ladrillo. La idea de la construcción «monolítica», «cohesiva», con la falsa promesa de la falta de empujes, etc., fascinó a una buena parte de los arquitectos y constructores de bóvedas tabicadas del siglo XIX (que, no obstante, disponían estribos, zunchos y tirantes para contrarrestar esos empujes supuestamente inexistentes). Los estudios sobre bóvedas tabicadas, tanto constructivos como estructurales, sólo progresarán cuando se hagan dentro del marco más amplio de la construcción abovedada de fábrica.

El libro está dividido en cuatro partes. En la primera, «Ensayos sobre Guastavino y la construcción tabicada» se recogen los trabajos antes citados. Aunque por motivos editoriales se han ordenado alfabéticamente, el lugar de honor corresponde al artículo del profesor Collins (creador del Archivo Guastavino), que por primera vez se publica en castellano. Auténtico *libellus aureus* de la construcción

tabicada y la obra de Guastavino, ha sido leído y anotado con detalle por todos los estudiosos de la construcción tabicada, ha pasado de mano en mano; muchas veces citado, y otras deliberadamente omitido, su influencia se deja sentir hasta hoy. Sirva su inclusión en este libro, no sólo como homenaje, sino como tributo justo a la extraordinaria contribución del profesor Collins. Agradezco a su viuda, la Sra. Christianne Crasemann Collins, la autorización para incluirlo en este libro.

Janet Parks, ha escrito una reseña biográfica del profesor Collins en la que se señala la importancia académica de Collins también en otros ámbitos de la historia de la arquitectura del urbanismo y en particular como gran experto sobre Gaudí y el papel crucial que jugó en el salvamento del archivo Guastavino cuando se iba a cerrar la empresa. La propia Janet Parks contribuye con un artículo específico sobre la historia, contenidos y écaracterísticas del Archivo Guastavino, del que es conservadora, así como un interesante trabajo sobre la génesis del principal tratado de Guastavino, su *Ensayo sobre la construcción cohesiva*.

Guastavino nació en Valencia, donde empezó a trabajar en la construcción, pero se formó en Barcelona. Allí ejecutó sus primeras obras. Poco se sabe de su época valenciana y la idea de rastrear las ideas de Guastavino en esta época es acertada. El artículo de Fernando Vegas intenta cubrir, a pesar de la escasez de documentos, este primer capítulo de formación temprana (agradezco al profesor Tarragó la idea de incluir este aspecto en el libro y las gestiones que realizó con el profesor Vegas).

El profesor Bassegoda ha escrito un largo artículo sobre la obra de Guastavino padre en Barcelona. Con la erudición y la minuciosidad que le caracteriza expone cada una de las obras de Guastavino, dando, además, abundantes referencias ábibliográficas. El propio profesor Bassegoda ha tenido la amabilidad de realizar una breve reseña biográfica sobre la vida de Guastavino hijo, que es la primera que se publica. Sobre la vida de Guastavino padre, se incluye, además, traducida al castellano, la biografía escrita por el profesor Rosell. Es la más completa publicada hasta el momento y será un punto de referencia para futuros trabajos.

Resulta interesante que las últimas investigaciones sobre la construcción tabicada no se hayan realizado en España sino en Italia, prueba sin duda de la mayor vitalidad de la Universidad italiana. Los estudios de historia de la construcción han proliferado en Italia desde el decenio de los años 1970. Los nombres de Benvenuto en la historia de la áteoría de estrcuturas (*scienze della costruzione*), de Nascé en los puentes metálicos, etc., son bien conocidos de los estudiosos de la historia de la construcción. En el terreno de la construcción tabicada los profesores Ramazzotti, Lemma, Gulli y el ingeniero Mochi han realizado contribuciones notables. Algunas se han recogido en este libro.

El estudio del profesor Ramazzotti sobre la construcción de la cúpula de San Juan el Divino de Nueva York, es un modelo de los trabajos particulares que habría que realizar de muchos otros edificios para avanzar nuestro conocimiento sobre Guastavino. El profesor Gulli ha estudiado con detalle los aspectos técnicos de la construcción tabicada y su influencia en la arquitectura moderna, en particular en la obra de Le Corbusier. Sus numerosas publicaciones sobre este tema se han recogido en la Bibliografía al final de este libro. El ingeniero Mochi discute en su ensayo la dificultad de realizar una historia de la construcción tabicada, y contribuye con un estudio histórico en el que explora los posibles orígenes, y su desarrollo y difusión hasta principios del siglo XX. El énfasis se pone en el estudio de las fuentes documentales, principalmente los tratados de arquitectura.

El profesor Tarragó realiza también una revisión histórica de la construcción tabicada. Empieza por los antecedentes lejanos y prosigue por la Edad Media, el Renacimiento, etc. Se detiene en particular en la contribuciones catalanas y prosigue hasta llegar a las derivaciones contemporáneas de Eladio Dieste. El énfasis se pone en las realizaciones arquitectónicas y, en este sentido, el estudio es complementario con antes citado de Mochi.

Las posibles influencias de la construcción tabicada catalana en los orígenes de la cerámica armada de Eladio Dieste se discuten en el ensayo presentado por el profesor Tomlow. A sugerencia suya, se ha reproducido al final de su trabajo el primer artículo de Dieste sobre la construcción de bóvedas armadas. El profesor Tomlow trabaja desde hace años en temas relacionados con la historia de la construcción;

primero dentro del Instituto de Construcciones Ligeras fundado por Frei Otto en la Universidad de Stuttgart, y en la actualidad en su cátedra de la universidad de Zittau en Alemania. Ha publicado numerosas contribuciones sobre la construcción catalana, y la obra de Gaudí y Rubió y Bellver.

El profesor García-Gutiérrez Mosteiro explora la construcción tabicada en España coetánea con la obra de los Guastavino y la influencia que éste ejerció sobre ella. Se trata con particular detalle el renacimiento de la construcción tabicada (llamada a la catalana desde entonces) en Madrid de la mano de Juan Bautista Lázaro y la obra de Luis Moya, temas todos ellos sobre los que ha publicados numerosas contribuciones.

Se recogen, así mismo, traducidos al español, algunos ensayos publicados en el número cuatro del *Journal of Preservation Technology*, de 1999, dedicado monográficamente a Guastavino. El artículo del profesor Neumann pone el sistema Guastavino dentro del contexto de la historia de la construcción tabicada. Se trata de un resumen sintético y lúcido que da una visión clara del desarrollo histórico. Termina discutiendo un episodio singular y poco conocido: el de las Escuelas de Arte de Cuba. Con estos edificios, cubiertos por espectaculares bóvedas tabicadas, el régimen de Castro intentó convertir la construcción tabicada en un símbolo político y cultural. En el otro artículo incluido en el presente libro, de R. Pounds, D. Raichel y M. Weaver, se analiza la contribución de Guastavino hijo en el desarrollo de cerámicas «acústicas». La investigación, pionera en su época, se llevó a cabo en colaboración con W. C. Sabine, el padre de la ciencia de la acústica arquitectónica, y muestra la capacidad e iniciativa de Guastavino hijo.

Finalmente, el editor ha contribuido con otro artículo sobre la Mecánica de las bóvedas tabicadas. En él se discute la «teoría cohesiva» de Guastavino en el contexto de las ideas históricas heredadas sobre la construcción tabicada y el marco de las ideas estructurales, principalmente relacionadas con la teoría de la elasticidad, de finales del s. XIX. La teoría cohesiva se demuestra falsa, pero jugó un papel crucial, primero para dar respetabilidad académica a un nuevo sistema de construcción y, édespués, como idea «motriz» de la actividad constructiva de los Guastavino.

En la parte de «Catálogo de la exposición» se recogen los textos e imágenes de la exposición *Guastavino & Co. La reinvención de la bóveda*. Los textos son todos del Comisario de la exposición, Javier García-Gutiérrez Mosteiro. Los títulos y divisiones se corresponden con los de los paneles; únicamente se han agrupado los del mismo título. No obstante, se han añadido otras imágenes, además de las que figuraban en los paneles de la exposición. En ésta su número estaba restringido por problemas de espacio. Dada la enorme riqueza documental del Archivo Guastavino, se decidió incluir en los apartados correspondientes imágenes adicionales, tomadas principalmente del Archivo Guastavino, que no aparecían en los paneles. La selección de imágenes añadidas fue realizada por el editor, con la ayuda de Esther Redondo.

La parte de «Álbum» recoge algunas de las imágenes del catálogo reproducidas a gran tamaño. La selección ha sido realizada por el editor y, de alguna forma, refleja sus intereses. En general, se han incluido aquellas imágenes que requerían un mayor tamaño, como los planos de construcción. También algunas fotos de procesos constructivos suministran una información muy valiosa sobre los métodos empleados. Finalmente, otras se han seleccionado, sencillamente, por su impacto visual.

La parte de «Bibliografía» incluye una *Bibliografía seleccionada y comentada sobre Guastavino y la construcción tabicada*, elaborada por el editor en colaboración con Gema López y Esther Redondo. El germen de esta bibliografía se encuentra en la que, desde hace más de un decenio, el editor compila sobre Historia de la Construcción, con la idea de publicarla alguna vez. Trabajos adicionales de búsqueda relacionados con la obra de Guastavino se hicieron dentro de un proyecto de colaboración de cuatro meses entre el Instituto Juan de Herrera y el CEHOPU, en 1998, dirigido por el editor, con el título: *Investigación documental previa a la construcción de maquetas históricas sobre la obra de Rafael Guastavino*. Federico Wulff, colaboró también en el proyecto. Además de la investigación documental, se realizaron planos para maquetas que, finalmente, no se llegaron a construir. Gema López y Esther Redondo, realizaron un rastreo exhaustivo de la biblioteca y del Archivo Guastavino de la Avery Library, así como de las bibliotecas y archivos de Barcelona. Debo agradecer al profesor Bassegoda el envío de algunas referencias difíciles de encontrar y la respuesta a distintas preguntas sobre fuentes catalanas. Finalmente, me pareció necesario

realizar una revisión de las revistas americanas de la época que se conservan en la Biblioteca de la ETSAM.

En las bibliografías siempre existe la disyuntiva entre la bibliografía «completa», que intenta recoger todo lo publicado y la «seleccionada» en la que el autor o autores escoge el material con algún criterio determinado. Las bibliografías completas rara vez son comentadas; las seleccionadas deben serlo. El criterio para esta bibliografía ha sido, simplemente, limitar el número de referencias a las más importantes, más originales o más difíciles de encontrar citadas. Aunque, la lista actual parezca larga, es menos de la mitad de la lista original de trabajo. La selección final ha sido realizada por el editor que es el único responsable tanto de las inclusiones como de las omisiones injustificadas. La paciente labor de realizar los comentarios ha sido realizada por Gema López que, además, ha debido soportar mi supervisión crítica.

Para terminar, quisiera agradecer a la biblioteca de la ETSAM, y a su directora Blanca Ruilope, la ayuda que me ha prestado en distintas etapas de la investigación documental. Agredezco tambien a Mariano García el considerable trabajo de servirme incontables números de revistas localizadas en el sótano. Pedro Navarro, director de la empresa INGRA, me facilitó gratis una copia de su programa de Inventario Gráfico que permitió el manejo de las más de 5.000 imágenes recogidas durante el trabajo de documentación. José Antonio García Ares e Ignacio Javier Gil Crespo, me han ayudado, con dedicación y minuciosidad, en la labor de editar los manuscritos de los distintos autores.

Ensayos sobre Guastavino y la construcción tabicada

La obra arquitectónica de Rafael Guastavino en Cataluña (1866–1881)

Joan Bassegoda Nonell

Rafael Guastavino Moreno nació en Valencia el primero de marzo de 1842. Dejando de lado los aspectos biográficos se tratará aquí de su obra en Cataluña antes de su partida en 1881 para los Estados Unidos de Norteamérica.

Estudios profesionales

En la Escuela de Maestros de Obras de Barcelona, ubicada en los desvanes o sotabancos de la Casa Lonja de Mar, obtuvo Guastavino en el Curso 1861–1862: Aprobado en Topografía y Notable en Geometría Descriptiva. En 1862-1863: Notable en Mecánica y Aprobado en Construcción. El 26 de noviembre de 1863 firmó el croquis de un levantamiento de planos de la «tercera y cuarta manzanas de la Universidad» y dos días después firmó el plano definitivo. Ambos dibujos se conservan en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona. En el curso 1863–1864 tuvo la calificación de Sobresaliente en Composición y Parte Legal. Este mismo curso, en la Escuela de Pintura, Escultura y Grabado, aprobó la Teoría del Arte y ganó un Sobresaliente en Historia del Arte.

Se conserva una fotografía de 1862 con el grupo de alumnos de la Escuela de Maestros de Obras dedicada al director Elías Rogent (Fig. 1). Los fotografiados son los siguientes, indicándose entre paréntesis el año en que se graduaron de Maestro de Obras: José Grau Forns (1872), José Plantada Forés (1865), Celso Comellas Roig (1865), Joaquín Sitjas Pausas (1865), Miguel Roger Roca (1865), José Xiró Jordi (1865), Mariano Prat Amat (1865), Juan Nieto Biola (1867), Agustín Quera Torras (1865), Antonio Serra Pujals (1865), Salvador Medir Pica (1865), Rafael Guastavino Moreno (1872), Pedro Maspons Cadafalch (1865) y Paulino Cabanes Casals, que no terminó la carrera. Todos estos estudiantes ganaron el título en 1865, excepto José Grau Forns y Rafael Guastavino Moreno que no terminaron sus estudios, pero se acogieron a un decreto del Gobierno del rey Amadeo I por el cual quienes hubiesen aprobado, al menos una asignatura, en la Escuela, se les concedía el título. Guastavino presentó la siguiente instancia firmada el 8 de mayo de 1872: «M.I.S., don Rafael Guastavino, alumno que fue esta Escuela de Bellas Artes, a V.S. con el debido respeto. Expone: Que necesitando acreditar las diferentes asignaturas que tiene aprobadas en esta Escuela Provincial de Bellas Artes, correspondientes a la carrera profesional de Maestro de Obras, y demás estudios también aprobados en esta Academia, a V.S. Suplica: Se sirva librarle el correspondiente certificado. Gracia que no duda el recurrente obtener, atendido el recto proceder de V.S».

Dos días después el Secretario de la Academia, Antonio de Ferrán, firmó el certificado en el que figuraban las asignaturas antes relacionadas, más el Aprobado del examen de ingreso en Arquitectura (1871) en la Escuela Politécnica Provincial, efímera Escuela que duró sólo un año. Fue este su último intento de proseguir sus estudios ya que al año siguiente se le concedió el titulo de Maestro de Obras. Anteriormente, el 1 de julio de 1866, presentó sus trabajos a una exposición de la Academia de Bellas Artes y se le concedió Mención honorífica en Composición de edificios y medalla de plata en Teoría e Historia del Arte.

Conviene explicar aquí que el Estado suprimió en 1870 las Escuelas de Maestros de Obras y entonces la Diputación Provincial de Barcelona decidió hacerse cargo de las enseñanzas técnicas y artísticas. A tal efecto, en 1870, estableció una Escuela Politécnica Provincial que se suprimió al año siguiente cuando se crearon la Escuela Provincial de Bellas Artes y la de Arquitectura,



Figura 1
Rafael Guastavino Moreno en 1862 cuando era alumno del profesor Juan Torras Guardiola en la asignatura de Construcción de la Escuela de Maestros de Obras de Barcelona

con los mismos profesores de la extinta Escuela de Maestros de Obras.

Guastavino se lanzó a ejercer la profesión mucho antes de tener el titulo, pues parece ser que en 1866 a los 24 años, proyectó el edificio de cuatro plantas que más tarde construyó en la calle Aragón esquina Lauria y que fue su propia vivienda.

En 1868 a poco de la revolución que destronó a Isabel II, proyectó la iluminación artística de un monumento dedicado a la Revolución Gloriosa en la plaza Real, que entonces pasó a llamarse Nacional.

La obra arquitectónica de Guastavino en Cataluña

La fábrica Batlló Hermanos (1869-1875)

La razón social «Batlló y Hermanos» tuvo su origen en el proyecto del olotino Pedro Batlló que, con sus siete hijos, constituyó en Barcelona en 1849 una sociedad dedicada a la industria textil. En 1876 la sociedad pasó a llamarse «Batlló y Batlló». Tuvieron fábricas en distintos puntos de Catalunya, pero el 12 de febrero de 1868 la sociedad encargó al arquitecto Magin Rius Mulet (1838–1897) el levantamiento topográfico y la unión de cuatro manzanas del Ensanche de Barcelona, con una superficie de 6 Ha, junto al término de Les Corts de Sarrià entre las calles de Provenza, Viladomat y Carretera de Sarrià, incluyendo en su interior fragmentos de las calles Borrell, Urgel, Rosellón y Córcega (Fig. 2).

Actualmente el terreno queda delimitado por las calles de Viladomat, París, Comte d'Urgell y Rosselló. Estos planos figuran en el Archivo Municipal Administrativo (AMA) con el nº de Expediente 166AI. Rafael Guastavino se encargó de la construcción, entre 1869 y 1875, de las grandes naves para telares con bóvedas tabicadas atirantadas sobre pilares de hierro colado, una gran alberca con agua de mina propia, varias cuadras y una chimenea de fábrica de ladrillo de 60 metros de altura, todo ello rodeado de jardines. Tenía instalada una potencia de 617 caballos de vapor y llegó a dar trabajo a 2.200 obreros en la fabricación de manufacturas de algodón. Entre otras exposiciones «Batlló Hermanos» participó en la Centennial Exhibition de Philadelphia en 1876. La Associació d'Excursions Catalana realizó en 1882 una visita a los edificios, según consta en el Boletín n° IV de dicha Asociación. En 1889 la sociedad se disolvió y los edificios permanecieron en desuso hasta que se promulgó en 1904 el Decreto por el que se establecía en los locales la Universidad Industrial a cargo de la Diputación Provincial, el Ayuntamiento y la Escuela de Ingenieros Industriales. El 11 de marzo de 1908 visitó los terrenos y edificios el Rey Alfonso XIII acompañado del Presidente del Consejo de Ministros, Antonio Maura y por el Delegado Regio en el Patronato de la futura Universidad Industrial, don Eusebio Güell. Actualmente la Escuela Industrial está incluida en el Catálogo Municipal de edificios con el n° 230. En 1970 se intentó el derribo de la magnifica chimenea pero el interés del ingeniero don Patricio Palomar y de otras personalidades de la ciudad lo impidieron y en 1974 fue debidamente restaurada (Fig. 3).

El Palacete Lorenzo Oliver (1869-1870)

Lorenzo Oliver, conde de San Juan de Violada, mandó construir a Guastavino un palacete de tres plantas, con tres fachadas y jardín en el paseo de Gracia 13 esquina Gran Vía de las Cortes Catalanas. Por carecer de título firmó los planos el Maestro de Obras Pablo Martorell. Figura el proyecto con el nº de Expediente 2018 del AMA. Fue demolido y en su lugar se construyó el palacio Marcet, del Maestro de Obras Tiberio Sabater Carné, actualmente Cine Comedia. En 1878, siendo ya Maestro de Obras, Guastavino firmó un proyecto de cobertizos en la Rambla de Cataluña, cerca de la Gran Vía (AMA 1428-G) y en 1879 otro de edificio en el chaflán Gran Vía Rambla de Cataluña (AMA 314-3p-bis) para el mismo cliente. El proyecto de 1869 figuró en las Exposiciones de 1871 y 1876 más abajo citadas.

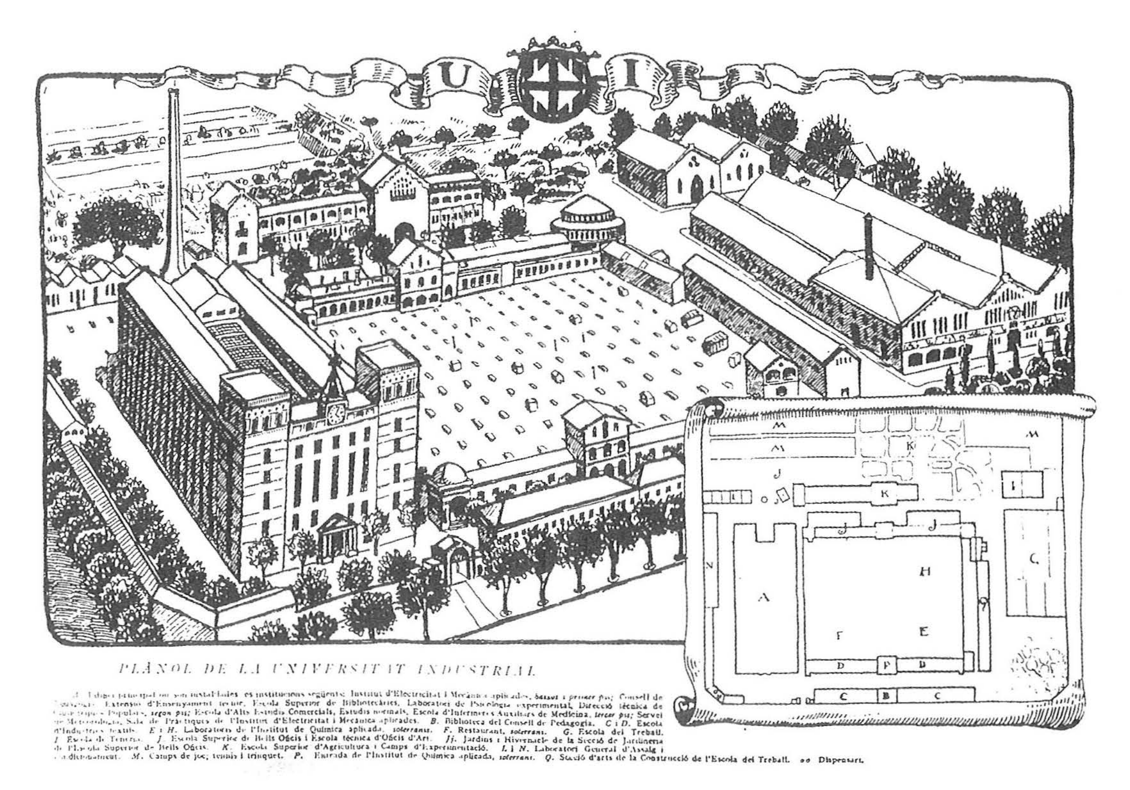


Figura 2
Panorámica de la Universidad Industrial de Barcelona en 1923 instalada en lo que fuera la fábrica textil «Vapor Batlló Hnos.»

Exposición de Agricultura, Industria y Bellas Artes (1871)

En los locales de la nueva Universidad en construcción se celebró el certamen inaugurado por el Rey Amadeo I. Guastavino expuso los proyectos de la casa Víctor Blajot (Figs. 4 y 5), Pablo Muntalt, Enrique Julià (Fig. 6) y Lorenzo Oliver, esta última con una maqueta de yeso y mármol de la escalera del jardín. Debido a la dificultad existente en determinar la cronología de las obras de Guastavino anteriores a su título de Maestro de Obras, es muy importante la presencia de cuatro de ellas en la Exposición de 1871 ya que indica el estado de las mismas en fecha tan temprana. Uno de los organizadores de la Exposición fue Juan Federico Muntadas Jornet (1826–1912), fabricante de tejidos y escritor, miembro de una familia dedicada a las manufacturas textiles desde el siglo XVIII. J. F. Muntadas este año de 1871 publicó una monografía sobre el Monasterio de Piedra (Zaragoza) conjunto de edificios que había heredado de su padre que los adquirió a raíz de la Ley de Desamortización de los Bienes Eclesiástcos de 1835. Restauró los edificios principales y organizó el famoso parque de su entorno con numerosas cascadas y juegos de agua que aprovechó para desarrollar sus afición a la piscicultura. Muntadas invitó a Guastavino a visitar el Monasterio de Piedra este mismo año y la visita la des-

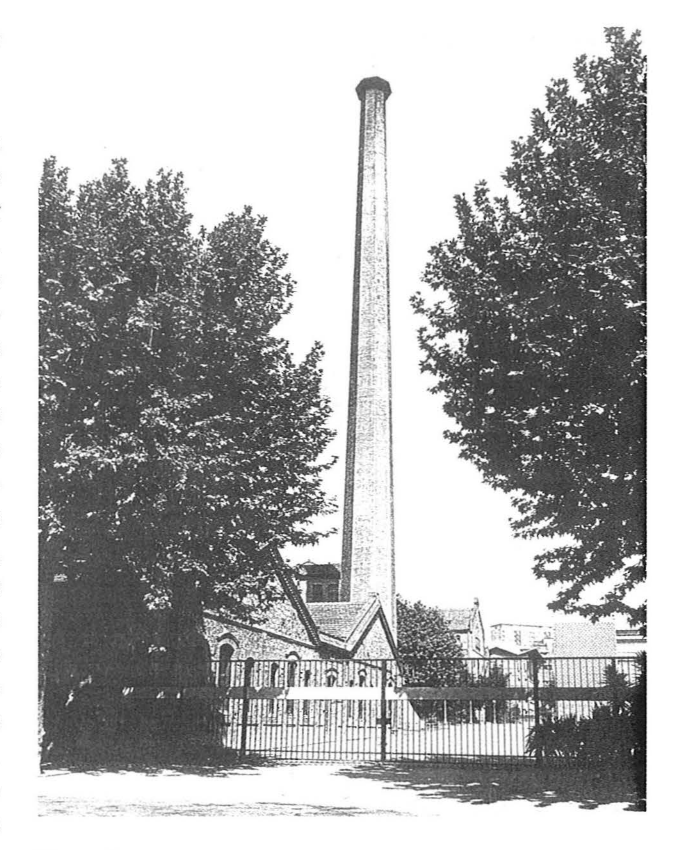


Figura 3
Chimenea de sección ochavada del antiguo «Vapor Batlló Hermanos», actualmente Escuela Industrial de Barcelona

cribe el propio Guastavino en su ensayo *Cohesive construction* (1893):

> Mientras contemplaba esa cascada de agua en aquella inmensa estancia, me invadió el pensamiento de que todo este espacio colosal estaba delimitado por un único elemento constituido por una sólida masa de muros, cimientos y cubierta, y de que se había construido sin cimbras o andamios, y sobre todo, sin necesidad de elementos pesados de piedra, pesadas vigas o pesadas cimbras; un todo compuesto de partículas colocadas unas sobre las otras, tal como la naturaleza las había dispuesto. Desde ese momento quedé convencido de que había mucho que aprender del gran libro llamado «Naturaleza», nunca suficientemente estudiado, y de que nuestro habitual sistema constructivo era muy pobre, a pesar de que poseíamos el material necesario para realizar esta clase de edificios imitando a la naturaleza. Entonces comprendí por qué mi distinguido profesor de construcción, D. Juan Torras, dijo un día: «El arquitecto del futuro construirá imitando a la naturaleza, ya que es el método más racional, duradero y económico». Esta gruta es realmente un magnífico ejemplo de la construcción cohesiva. ¿Por qué no habíamos construido aplicando este sistema?

Este tributo de Guastavino a Juan Torras demuestra la influencia del catedrático de construcción que luego se manifestó en arquitectos como Gaudí, Domènech o Vilaseca y que, con anterioridad había afectado el pensamiento de Guastavino.

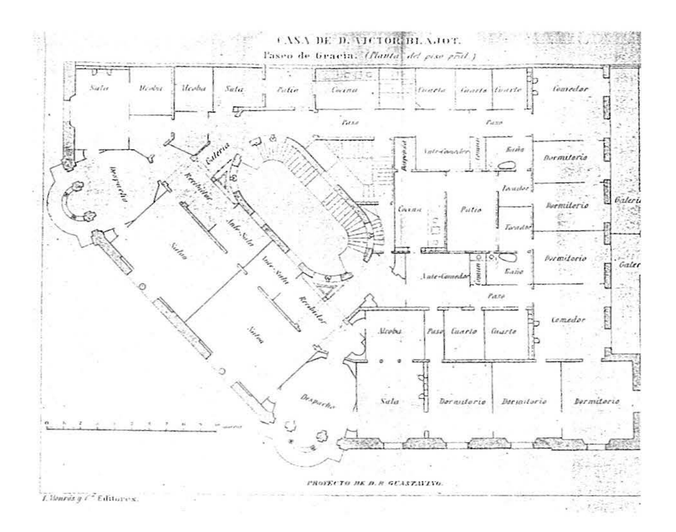


Figura 4
Planta del piso principal de la casa Vícor Blajot. Paseo de Gracia 72-Diputación 335. Barcelona, 1871

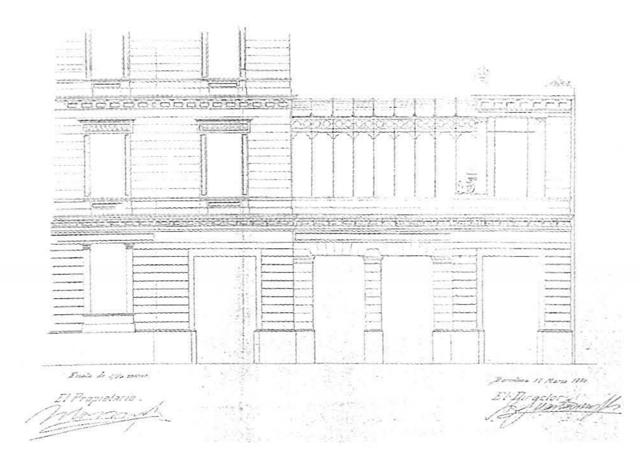


Figura 5
Rafael Guastavino Moreno, Maestro de Obras. Proyecto de Ampliación lateral de la casa de Víctor Blajot, calle de la Diputación, Barcelona. 17 de marzo de 1880. (Archivo Administrativo Municipal de Barcelona)

Fábrica Antonio Gabriel Vidal e Hijos (1871)

Fábrica de curtidos de suela de cuero construida con forjados de vigas de madera y bóvedas tabicadas, situada en la calle Llull 51 y Carretera de Mataró 140 en Sant Martí de Provençals. La razón social tenía su despacho en la calle Princesa 33.

Casa Víctor Blajot (1871)

En 1871 proyectó la casa para el banquero Víctor Blajot en el paseo de Gracia 72, (ahora 32) esquina a Diputación 335 cuya fachada presenta el estilo que los norteamericanos llaman *neo-greek*, con uso del hierro colado en las columnas de las tribunas y forja en las ménsulas de las losas de los balcones de tales tribunas. Es destacable también la escalera de hierro con peldaños de mármol, en el patio central. Encima de la puerta y ventanas de la planta baja del chaflán el escultor Rosendo Nobas Ballbé (1838–1891) esculpió un friso representando la «Historia de los progresos de la Humanidad», que fue parcialmente destruido cuando se colocó el soporte de una marquesina para una tienda. Su ocultación fue comentada en un articulo periodístico en 1970. Quedó parcialmente descubierto en 1974 y los restos fueron fotografiados y publicados en un periódico local. En 1988 se suprimió la marquesina y fueron recuperados los fragmentos no destruidos. El proyecto fue firmado por el Maestro de Obras Antonio Serra Pujals, compañero de carrera de Guastavino en 1862. En 1880 Guastavino reformó la fachada y construyó un invernadero (AMA 1150-I). En 1920 el arquitecto José Mª Jordán añadió un piso y reformó la fachada (AMA 21933). El proyecto de Guastavino para la casa Blajot fue presentado en la Exposición de 1871 en la Universidad y en la de 1876 en el Centro de Maestros de Obras. (Figs. 4 y 5)

Hay referencias de la casa Blajot en: J. Nacente, *Álbum de arquitectura de Barcelona*. 1, Barcelona, 1888, Láms. 152–153; J. Roca y Roca, *Barcelona en la mano.*

Barcelona, 1895, 242; F. Rogent, *Arquitectura Moderna de Barcelona*. Barcelona, 1897, 161, Lám. 93; A. del Castillo, *De la Puerta del Ángel a la plaza Lesseps*. Barcelona, 1945; A. García Espuche, *El Quadrat d'Or*. Barcelona, 1992, 45; J. Subircahs, *Escultura del segle XIX*. Barcelona, 136; J. Bassegoda Nonell, «Una obra de Nobas en mala hora perdida» *La Prensa*, Barcelona (31 de octubre de 1970); L. Permanyer, «Recuperar un friso», *La Vanguardia*, Barcelona (septiembre de 1988).

Casa Pablo Muntalt (1871)

Edificio en construcción en 1871 en el paseo de Gracia. Sin otra referencia que la del proyecto presentado a la Exposición de 1871 en la Universidad de Barcelona.

Casa Propia (1870-1872)

Edificio de cuatro plantas con forjados a base de bóvedas tabicadas apoyadas en arcos de ladrillo con cemento Portland importado de Inglaterra. Se supone que inició el proyecto a los 24 años, o sea en 1866. El edificio, hoy desaparecido estaba en la calle Aragón 263, esquina a Lauria.

Hay referencia y una foto en el libro de Guastavino *Essay on the theory of cohesive construction*, 1892.

Casa Camilo Juliá (1872–1874)

Situada en el paseo de Gracia 150–152, (ahora 86) cuyo proyecto fue expuesto en 1871 en la Universidad. Francisco Rogent consideraba este edificio como pionero del modernismo en Barcelona y alaba la solución del patio triangular forzado por el chaflán con la calle Mallorca. Fue totalmente remodelada en 1985. (Fig. 6)



Figura 6
Rafael Guastavino Moreno. Casa Camilo Juliá, 1872-1874. Paseo de Gracia 152. Barcelona. (Foto: Columbia Univ.)

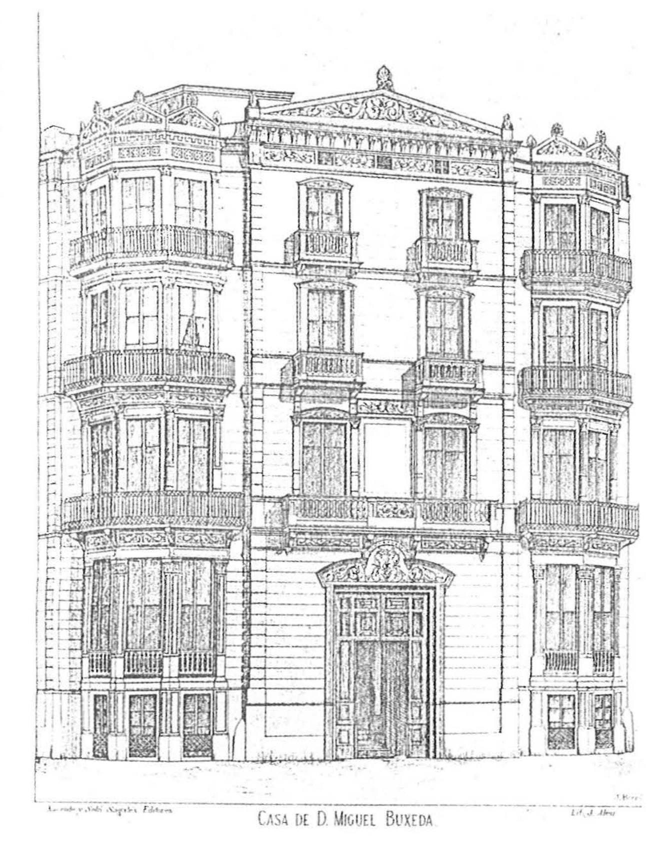


Figura 7
Casa Miguel Buxeda. Paseo de Gracia-Ronda de San Pedro, Barcelona, 1872. Demolida

Describe la casa Juliá: Francisco Rogent, *Arquitectura moderna de Barcelona*, 1897, Lám. 65.

Diploma de Honor (1872)

La Sociedad Económica de Amigos del País distinguió a Guastavino con el Diploma de Honor por su acción como miembro de la organización de la Exposición Marítima Española de 1872.

Casa Herederos de Miguel Buxeda (1872)

Edificio en el chaflán de Paseo de Gracia 12, ahora plaza de Cataluña y Ronda de San Pedro. Demolido. Características semejantes a las casas Blajot y Juliá, pero más sencillas (Fig. 7). El proyecto se presentó en la Exposición del Centro de Maestros de Obras de 1876 y del mismo se ocupan: J. Nacente, *Álbum de arquitectura de Barcelona*, 1888, Láms. 171-175 y J. Roca, *Barcelona en la mano,* 1895, 241, que considera la fachada decorada con buen gusto.

Miembro del Jurado (1873)

Miembro del jurado en 1873 para el concurso convocado por la Sociedad Económica de Amigos del País para la redacción de una monografía sobre los claustros de la catedral de Barcelona. El arquitecto de la catedral J. O. Mestres no fue premiado y publicó por su cuenta su Monografía en 1876.

Exposición Universal de Viena (1873)

Guastavino presentó un «Modèle d'une maison» dentro de la Sección Española, citado en el *Catalogue Génerale de la Section Espagnole Grupo 25, Bellas Artes, n° 11 (3324)*. Viena, 1873, 151.

Proyecto de Monumento a los Héroes de África (1875)

En 1874 el Ayuntamiento de Barcelona convocó un concurso para la erección de un monumento a los héroes de la campaña de Marruecos de 1859–1860. Se presentaron 32 proyectos y el 29 de septiembre de 1875 se abrieron las plicas, habiendo resultado vencedor al proyecto de Augusto Font Carreras. Guastavino concurrió con un proyecto bajo el lema «¿Puede pertenecer a otros pueblos?», que no fue premiado. Otro concursante, Macario Planella Roura, opinaba que el proyecto de Guastavino era regular, con un templete impropio. Hay referencia de este proyecto en: J. Bassegoda Nonell, *El monumento a los héroes de África*, Barcelona: Miscel.lània Bassegòtica, Cátedra Gaudí, 2000, 21.

Tenería Bernardo Muntada, Aparicio y Cia. (1875)

Fábrica de tejidos de algodón con jácenas de madera y bóvedas tabicadas con oficina en Puertaferrissa 18.

La exposición de Filadelfia en 1876

Con ocasión del primer centenario de la independencia de los Estados Unidos de Norteamérica se organizó en la ciudad de Filadelfia (Pennsylvania) la Centennial Exhibition, con amplia participación internacional. Cataluña estuvo muy bien representada por la Asociación de Ingenieros de Barcelona, el Ateneo Barcelonés y la Real Academia de Ciencias y Artes, que presentaron sus reglamentos y publicaciones. Las Escuelas de Bellas Artes y de Ingenieros Industriales de Barcelona mandaron varios trabajos de sus alumnos, que fueron premiados. Los industriales presentes fueron los algodones de «Batlló Hermanos», las sedas de «Malvehy», los curados de algodón de «La Obrera Mataronesa» y los refractarios de «Cucurny». Entre los artistas figuraron Benito Mercadé y Modesto Urgell, pintores, y Suñol y Nobas, escultores.

En arquitectura se pudieron ver diversos proyectos de monumento a les héroes de África de 1859 a cargo de Miguel Garriga Roca, Oriol Mestres y Antonio Rovira y Rabassa. Rafael Guastavino presentó 21 fotografías de sus obras, un proyecto de saneamiento para establecimientos industriales y varios de construcciones económicas para obreros, que fueron distinguidas con sendos premios al mérito.

Figuraron en el Grupo XXVI de Arquitectura e Ingeniería, n° 323, 26–4°–114. Guastavino explicaba las ventajas de las construcciones «tubulares» de muros y forjados mediante espacios huecos que aligeran y aíslan las estructuras.

Esta importante aportación a la Centennial Exhibition acredita a Guastavino no solo como constructor, sino también como investigador de la construcción, como luego pudo demostrar ampliamente en su período americano de 1881 a 1908. Precisamente en 1892 hizo un proyecto para el pabellón del Gobierno Español en la Exposición de IV Centenario del Descubrimiento de América en Chicago, imitando la Lonja de Valencia.

Así se puede ver en: *American Architect and Building News* 41, 916 (15 de noviembre de 1893): 44–45. Hay referencias de Guastavino en Filadelfia en: *Expositores de España y sus posesiones de Ultramar recompensados en Filadelfia*. Barcelona, 1877, 58; *Lista preparatoria del Catálogo de Expositores de España*. Filadelfia: Imp. Campbell, 1876; y Juan Bassegoda Nonell, «El Centenario de los Estados Unidos de Norteamérica», *La Vanguardia Española*, Barcelona (9 julio de 1976).

Exposición del Centro de Maestros de Obras de Barcelona (1876)

El Centro de Maestros de Obras de Barcelona inauguró su nueva sede social en Barcelona en la calle del Pino 5 2° en 1876, siendo Presidente Alejandro Perich Roger y para celebrar la nueva sede se montó una magna exposición artístico-industrial que se inauguró el 7 de enero del año referido. Había obras de 26 Maestros de Obras y 119 expositores más con trabajos de pintura, escultura, grabado, vaciado, fotografía, arqueología, fontanería, bronces, cantería, piedra artificial, mosaico, carpintería, cerrajería, ferretería, cerámica, papeles pintados, etc. En esta muestra Guastavino presentó fotos y planos de las casas Buxeda (Fig. 7), Blajot (Figs. 4 y 5) y Oliver. Se pueden encontrar referencias en: *Anuario del Centro de Maestros de Obras*. Barcelona, 1876 y en Juan Bassegoda Nonell, *Los Maestros de Obras de Barcelona*. Barcelona: Ed. Técnicos Asoc., 1973, 47.

Exposición de productos catalanes (1877)

En el *Catálogo General de los objetos que figuran en la manifestación de productos catalanes de ciencias, letras y bellas artes, agricultura e industria, inaugurada el 4 de marzo de 1877 por S. M. el Rey don Alfonso XII e improvisada en su obsequio en el edificio de la Universidad de Barcelona.* Barcelona: Imprenta de S. Manero, Ronda del Norte, 128, 1877, 21, dentro de los objetos que exhibió la Sociedad Económica de Amigos del País, Rafael Guastavino presentó cinco cuadros de un proyecto de Palacio de Exposiciones.

Fábrica de lanas de Carreras e Hijos (1877)

Para la razón social Ignacio Carreras, hijos, Michaus, y Cía. en la calle de Casanova y Diputación, construyó Guastavino un edificio con vigas de hierro y bóvedas tabicadas (AMA 3954) el 14 de junio de 1877. Dos años más tarde Guastavino se ocupó de cercar un solar en las calles de Muntaner y Gran Via para Ignacio Carrera (AMA 1226-H) el 16 de mayo de 1879.

Proyecto de Casa Elías (1877)

Proyecto, no realizado, de casa de una sola planta para doña Josefa Elías en la calle de Nápoles.

Almacenes Grau (1877)

Para los Almacenes Industriales Grau levantó Guastavino unas naves con bóvedas tabicadas atirantadas de 5,8 metros de luz.

Casa Mumbrú (1877)

El 16 de agosto de 1877 Guastavino presentó el proyecto de una pequeña casa en la calle Doctor Dou cerca de la calle Pintor Fortuny (AMA 225-G)

Casa y Talleres Modesto Casademunt (1877–1878)

Modesto Casademunt encargó a Guastavino la construcción de una casa entre medianeras en la calle Aribau 3 (antes 11) de planta baja y cuatro pisos de viviendas. El 3 de abril y 16 de agosto de 1877 (AMA 682-F y 223-G) firmó sendos proyectos para la planta baja donde instalar la fábrica de engases de vidrio, cristal, porcelana, zinc, cobre y madera para productos farmacéuticos. Los 16 y 21 de enero de 1878 (AMA 824-especial, 826 y 7 6 8-H) firmó los planos de la casa de viviendas con fachada mixta de piedra y ladrillo visto y balcones y balconeras con barandillas de hierro colado. En el balcón corrido central del primer piso figuraba un medallón circular con las iniciales M.C. que fueron después cambiadas por J. E. de José Espasa, el ulterior dueño de la casa. En los dinteles de los cuatro balcones restantes hay medallones con bustos escultóricos de personajes no identificados obra del escultor reusense Juan Roig Soler, que adornó así mismo diversos edificios de Guastavino. La casa se conserva en perfecto estado y es de agradable aspecto, sencilla y sin pretensiones (Fig. 8). Para el propio Modesto Casademunt proyectó Guastavino unos talleres en la calle Enrique Granados (antes Universidad) 47 entre Valencia y Mallorca. Corresponden a (AMA 352-H) de 18 de octubre de 1878 y (AMA 880-H 1612-I y 416-I) de 21 de enero, 3 y 7 de octubre de 1879. Hay referencia de estas obras en: *La Exposición,* 2, 60, Barcelona (29 de octubre de 1888): 113; *Exposición Universal de Barcelona, Catálogo General Oficial.* Barcelona: Imp. N. Ramírez, 1888, 209. Clase 93, n° 2286; y C. Sagarra, *Estudio del edificio de R. Guastavino, en Aribau 3.* Archivo Cátedra Gaudí.



Figura 8
Rafael Guastavino
Casa Modesto Casademunt. Calle Aribau 3. Barcelona, 1877-1878

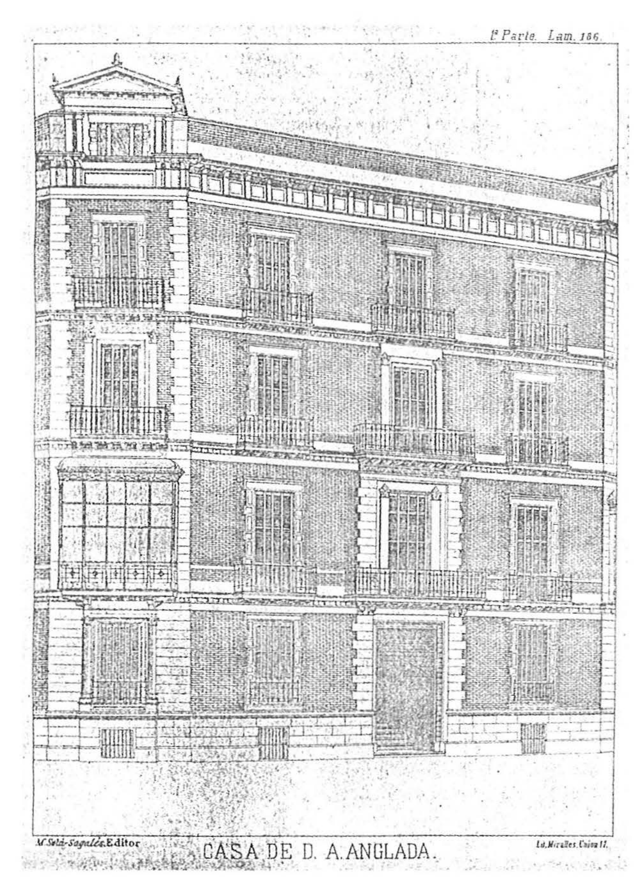


Figura 9
Casa Andrés Anglada. Calle de Aragón 326, Barcelona. 21 de enero de 1879

Cobertizos Reig (1878)

Para don Francisco Reig proyectó el 18 de noviembre de 1878, unos cobertizos en la calle Diputación entre Muntaner y Aribau (AMA 629-H)

Reforma de la Casa Anglada (1879)

En la calle de Aragón 326, cerca del paseo de Gracia, proyectó unas importantes reformas el 21 de enero de 1879 (AMA 832-H) y el 13 de agosto del mismo año (AMA 208-1) para don Andrés Anglada. Se trata de un edificio de planta baja y tres pisos, desaparecido, de piedra y ladrillo visto con tribunas angulares acristaladas en el primer piso (Fig. 9). Publicados tres planos en J. Nacente, *Álbum de arquitectura de Barcelona.*

Obras para Edmundo C. Sivatte (1878–1879)

El 2 de agosto de 1878 se presentó al Ayuntamiento el proyecto de reforma de la casa nº 10 de la plaza Nueva (AMA 38-H) frente a la desaparecida calle Corribia delante de la catedral, para Edmundo C. Sivatte y el 12 de septiembre de 1879 un proyecto de almacén en planta baja en la calle Urgell esquina Coello (AMA 10609).

Reforma de las Casas de Juan Rumià y Jaime Amigó (1880)

El 9 de mayo de 1880 firmó el proyecto de reforma interior de la casa de don Juan Rumió en la calle Arenas de Escudellers 4 (AMA 1444-I) y el 27 de julio de 1880 la reforma interior de la casa de don Jaime Amigó en la calle Espaseria 17 (AMA 123-J).

Talleres Eusebio Castells (1880 c.)

En la esquina de Caspe 64 y Bruc proyectó el 27 de julio de 1880 el taller de aprestos de Eusebio Castells (AMA 90-J)

Fábrica Saladrigas (1880 c.)

Para la razón social Saladrigas Hermanos, en la calle Atila l, de Sant Martí de Provençals proyectó la fábrica de tejidos y estampados de algodón.

Fábrica Florensa, Hermanos y Sobrino (1880 c.)

En la carretera de la Bordeta 147, de Hostafrancs construyó la fábrica de porcelanas artísticas de Ramón Florensa, Hermanos, Sobrino y Cía. cuyas oficinas estaban en la calle Escudellers Blancs 3.

Fábrica Mitjans (1880 c.)

Edificio industrial destinado a la fabricación de lanas para Mitjans y Cía.

Fábrica Martín Riu (1880 c.)

Edificio de dos plantas con bóvedas tabicadas atirantadas de 3 metros de luz, en la calle Lealtad de Sant Martí de Provençals.

Fábrica Hijos de I. Rosich y Cía. (1880 c.)

Fábrica de hilados y tejidos de algodón con despacho en calle Pelayo 36.

Casa Ramón Mumbrú (1880)

En la esquina de las calles San Miguel y Serrano (ahora Major) de Sarrià proyectó Guastavino el 1 de abril de 1880 una casa de planta baja y dos pisos con su característico estilo *neo-greek.*

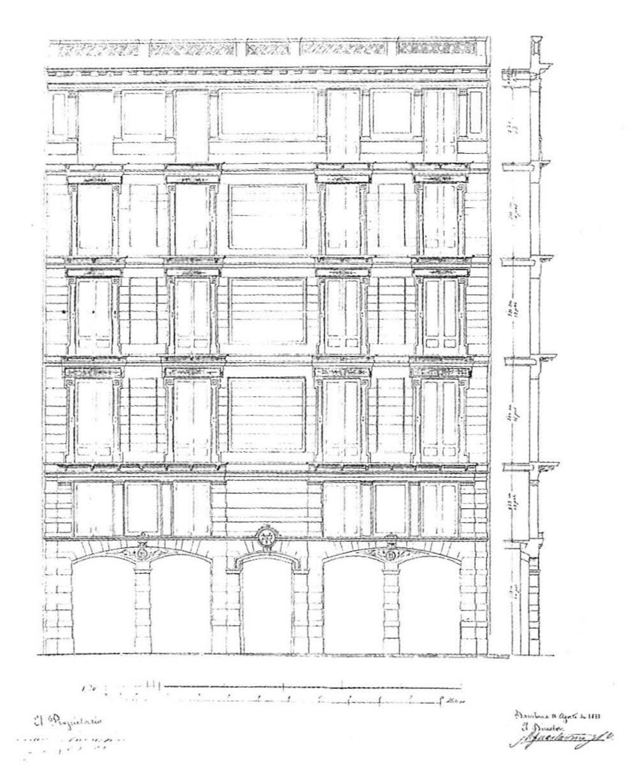


Figura 10
Casa Ramón Mumbrú. Calle Doctor 10, Barcelona. 15 de agosto de 1877. Terminada la obra en 1880

Copias de los planos de planta, alzado y sección se conservan en la Cátedra Gaudí (Fig. 10).

La Massa (1880)

Guastavino se fue a los Estados Unidos en 1881 pero antes dejó su más importante obra en Cataluña en el Centre Vilassanès o «La Massa» de la calle Mestra Viladora 56 de Sant Genís de Vilassar, o Vilassar de Dalt (Maresme. Barcelona). Edificio de planta circular con columnas de hierro colado formando una nave anular con bóvedas tabicadas escarzanas apoyadas en vigas de hierro donde están los dos pisos de palcos. En el centro, la gran sala cubierta con una cúpula de casquete esférico de bóveda tabicada de 17 metros de diámetro, una sagita de 3,5 metros y un lucernario cilíndrico de 4 metros de diámetro. La cúpula es de sencillo y doblado y lleva un tirante de hierro redondo anular en el apoyo y en el trasdós unos refuerzos de ladrillo en forma de paralelos y meridianos. Ha sido restaurado en diversas ocasiones y actualmente se encuentra en buen estado. (Figs. 11–14)

Hay referencias de La Massa en: «Tele/exprés», Barcelona (3 de abril de 1875); *Campanya Centre Vilassanès.* Sant Genís de Vilassar, agosto de 1974; VVAA, «Vilassar. Itinerari: El Nord», *Vilassar*, (julio-agosto), 1973; Teresa Rumeu Milá, *Restauració del Centre Vilassanès.* Archivo Cátedra Gaudí, 1985.

La Fábrica «Asland» de Castellar de N'Hug (Bergadà. Barcelona)

Se ha especulado mucho con la intervención de Guastavino en el proyecto de la fábrica de la Compañía General de Asfaltos y Portland «Asland» S.A., de Castellar de N'Hug, inaugurada el 25 de julio de 1904 y visitada el 1 de noviembre de 1908 por S. M. el Rey Alfonso XIII.

Teniendo en cuenta que Guastavino emigró a América en 1881 y que nunca volvió a España, es absurdo pensar que fuera el autor de la dirección de las obras. Estas fueron llevadas a cabo por el arquitecto Luis Homs Moncusí que, juntamente con Eduardo Farrés Puig, se especializó en construcciones de hormigón armado, ambos construyeron el chalet del Clot del Moro, casa de Eusebio Güell en Castellar de N'Hug, junto a la fábrica. Güell fue el primer presidente y fundador de la sociedad Asland a partir del 15 de julio de 1901. Por lo que se refiere al proyecto, lo redactó el arquitecto Isidoro Peraza de la Pascua, al que don Eusebio Güell envió a comprar la maquinaria para la fábrica a Allis Chalmers Mfg. Co. de Milwakee (Wisconsin) y Pelton Water Wheel. Parece ser que Isidoro Pedraza entró en contacto con Guastavino que pudo aconsejarle el sistema de cubiertas a base de ligerísimas cerchas de hierro y bóvedas tabicadas.

Referencias de la fábrica Asland: Carles Salmerón, *El tren de La Pobla de Lillet.* Barcelona, 1986; Patricio Palomar, *Libro del Cincuentenario.* Barcelona, 1954;



Figura 11
Rafael Guastavino Moreno. Cúpula de casquete esférico obrada con bóveda tabicada en el Centro Vilassanès en Vilassar de Dalt (El Maresme), Barcelona. Construida entre 1880 y 1882, tiene 17 metros de diámetro

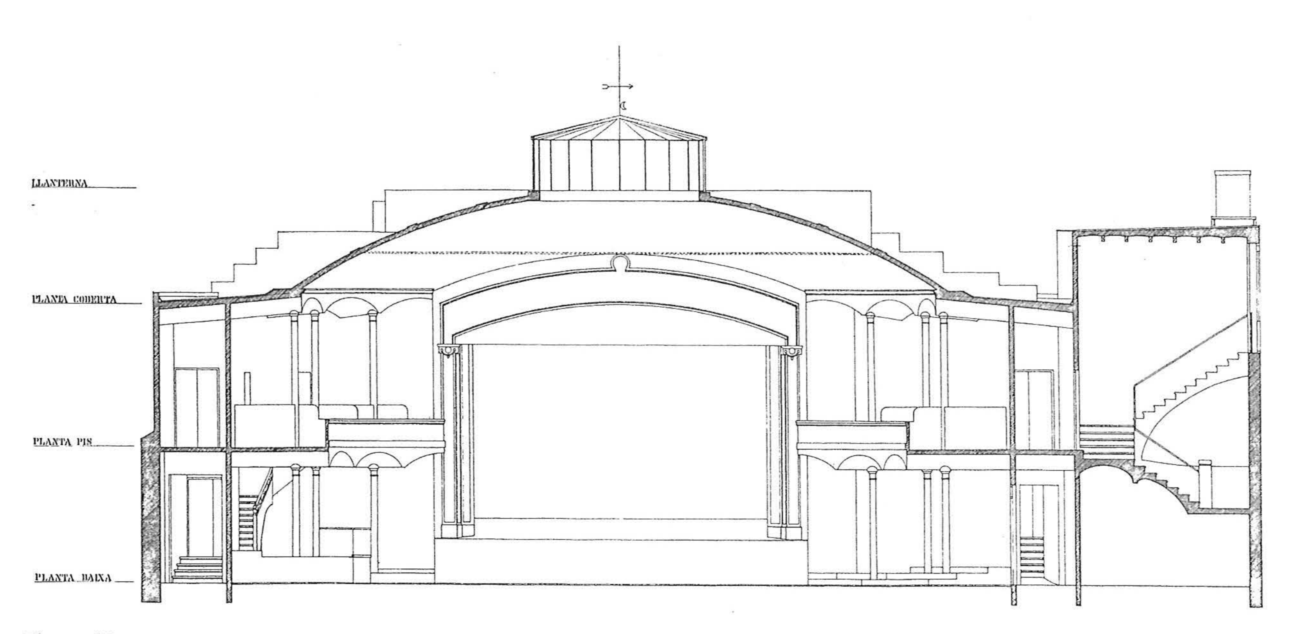


Figura 12
Sección longitudinal del Centro Vilassanès en Vilassar de Dalt (El Maresme), Barcelona

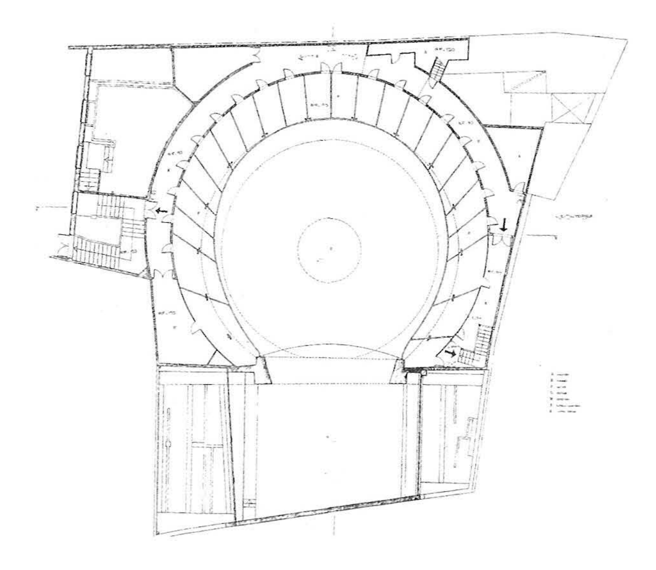


Figura 13
Planta del primer piso del Centro Vilassanès

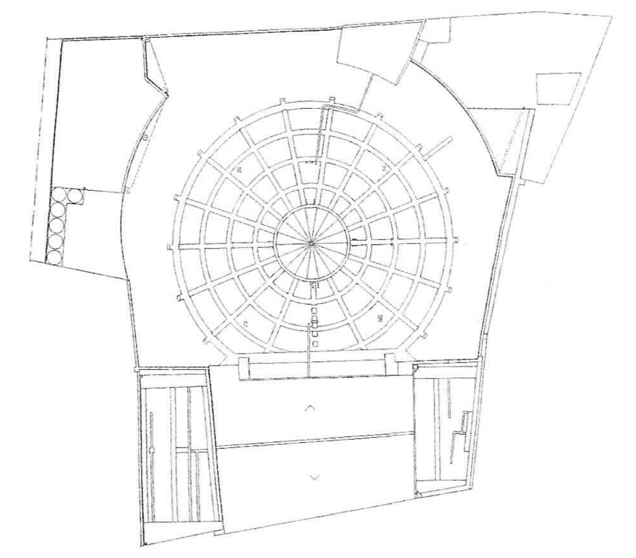


Figura 14
Planta de cubiertas del Centro Vilassanès

Juan Bassegoda Nonell, «La fábrica del Clot del Moro», *La Vanguardia*, Barcelona (3 de febrero de 1982).

La lección de Guastavino

La gran obra de Guastavino se desarrolló en los Estados Unidos desde 1881 a 1908, fecha de su muerte y continuó gracias a su hijo y a la sociedad que ambos constituyeron. El estudio de conjunto de su ejecutoria revela a un gran constructor especialista en la edificación que él llamaba cohesiva y en el uso, hasta limites insospechados, de las bóvedas tabicadas. Estuvo en vanguardia en cuanto al uso de los nuevos materiales, como son el hierro laminado y el cemento Portland, pero al mismo tiempo consiguió grandes resultados con el empleo de las tradicionales bóvedas tabicadas o, si se quiere bóvedas catalanas, a las que introdujo mejoras con atiranta-

mientos de redondos perimetrales o transversales con lo que consiguió salvar grandes luces. A este respecto son interesantes los informes sobre la estabilidad de la cúpula de «La Massa» de Vilassar de Dalt emitidos por los arquitectos Buenaventura Bassegoda Musté (1925) y Juan Rubió Bellver (1930) manifestando la perfecta estabilidad de la estructura y elogiando la habilidad constructiva de su autor. Con el sistema de muros y forjados huecos consiguió ligereza e insonorización de las estructuras y en todas sus obras y opiniones se percibe una gran dosis de sentido común derivada de un conocimiento cabal de los sistemas estructurales, que siempre intentó asimilar a las estructuras que forma espontáneamente la Naturaleza.

En este sentido cabe destacar la influencia que recibió de su profesor de construcción en la Escuela de Maestros de Obras, Juan Torras Guardiola, que inculcó a sus alumnos el amor a las estructuras naturales que son siempre las más lógicas. Los comentarios de Guastavino sobre la estructura de la espelunca de la cascada de la Cola de Caballo del monasterio de Piedra manifiestan el respeto por lo aprendido de Torras. No fue Guastavino el único en recibir la benéfica influencia de Juan Torras. Semejante atención a las lecciones de construcción de aquel gran maestro son los apuntes de clase de diversos alumnos como es el caso de Macario Planella Roura, Juan Martorell Montells en la Escuela de Maestros de Obras o de Jaime Bayó Font, Luis Domènech Montaner, Leandro Albareda Petit o Joaquín Bassegoda Amigó en la de Arquitectura, donde se formó también la personalidad de Antonio Gaudí, que llevó el concepto naturalista de la arquitectura y el uso integral de las bóvedas tabicadas, no solamente a resolver problemas estructurales, sino también creando una nueva plástica escultórica en las chimeneas de las casas Batlló y Milà.

La generación de arquitectos que mostró tan acusada personalidad a principios del siglo XX en Barcelona, aprovechando las sabias lecciones de Juan Torras Guardiola, tuvo un interesante precedente en Rafael Guastavino Moreno el cual, en los inicios de los años setenta del siglo XIX ya dio ejemplos de haber asimilado perfectamente el amor a las estructuras naturales. Su vocación de puro y simple constructor, le llevó a volcar todo su ingenio en las estructuras, desentendiéndose de los aspectos formales de sus edificios que, exteriormente ofrecen un modesto estilo neogriego, sin demasiadas pretensiones decorativas. Esto por lo que se refiere a su obra en Cataluña. Cuando luego alcanzó a construir varios miles de edificios en Nueva Inglaterra, ni siquiera se preocupó de dejar constancia de su presencia en las obras, que ha quedado bien patente en sus soberbias estructuras que los arquitectos americanos recubrían con su manto decorativo y entregaban al cliente como obras de arte.

Es muy ilustrativo que Guastavino se fuera del Viejo al Nuevo Mundo dejando testimonio de su creatividad con la cúpula de 17 m de diámetro de Vilassar de Dalt (1880) y se fuera del Nuevo Mundo a la Eternidad a poco de cerrar el monumental casquete esférico de 41 metros de diámetro de San Juan el Divino de Nueva York (1908).

Bibliografía en orden cronológico

Fray Lorenzo de San Nicolás, *Arte y uso de la arquitectura*. Madrid, 1633–1664.

Felix François d'Espie, *La manière de rendre toute sortes d'édifices incombustibles*. París, 1754.

Macario Planella Roura, *Lecciones de Construcción explicadas por el Catedrático don Juan Torras Guardiola. 4ª Asignatura de la Carrera de Maestros de Obras, Aparejadores y Agrimensores*. Barcelona, octubre de 1860 (manuscrito original conservado en la Cátedra Gaudí).

Catálogo General de los objetos que figuran en la Exposición de Agricultura, Industria y Bellas Artes inaugurada el 24 de septiembre de 1871 por S.M. el Rey don Amadeo I. Barcelona: Est. Tip. N. Ramírez, 1871.

Catalogue Général de l'Exposition Universelle a Vienne 1873, Section Espagnole, 25 Groupe, Beaux-Arts R. Guastavino n° 12 (3324), Vienne, 1873.

J. Oriol Mestres, *Monografía de los claustros de la catedral*. Barcelona: La Renaixensa, 1876.

Lista preparatoria del Catálogo de expositores españoles, Exposición Universal de Filadelfia. Filadelfia: Imp. Campbell Fairmount, 1876.

Anuario del Centro de Maestros de Obras. Exposición en la sede social Barcelona, 1876.

Jaime Bayó Font, *Apuntes de Construcción tomados del Catedrático don Juan Torras Guardiola. Curso 1877–1878*. (manuscrito original conservado en la Cátedra Gaudí).

Expositores de España y sus provincias de Ultramar recompensados en la Exposición Universal de Filafelfía de 1876. Barcelona, 1877.

Luis Alfonso, *La Exposición del Centenario, Noticia del Certamen Universal de Filadelfia en 1876*. Madrid: Tip. Peroj, 1878.

Rafael Guastavino, Artículos en *The Decorator and Furnisher*, New York, 1882-1883.

J. Nacente, *Álbum de arquitectura de Barcelona*. Barcelona, 1888.

Rafael Guastavino, «The theory and history of cohesive construction», *The American Architect and Building News* 26, Boston (16 de noviembre de 1889): L. de C. Berg Safe Building Ticknor Boston, 1889-1890.

Rafael Gustavino, «Cohesive construction: applications on industrial sections», *The American Architect and Building News* 26, Boston (22 de febrero de 1890).

Rafael Guastavino, *Essay on the theory and history of cohesive construction*. Boston: Ticknor, 1892.

Rafael Guastavino Moreno, «The building of the spanish governement at World's Fair», *American Architect and Building News* 16, 916, New York (15 de julio de 1893).

Rafael Guastavino, «The cohesive construction, its past, its present, its future?», *The American Architect and Building News* 16, Boston (15 de julio de 1893).

J. Roca y Roca, *Barcelona en la mano.* Barcelona, 1895.

Rafael Guastavino, *Prolegomenos on the function of masonry in modern architectural structures.* New York: Record and Guide Press, 1896.

F. Rogent Pedrosa, *Arquitectura Moderna de Barcelona.* Barcelona: Parera, 1897.

«Valencianos sobresalientes, nuestro arquitecto don Rafael Guastavino», *Las Provincias,* Valencia (20 de septiembre de 1898).

José Domènech Estapà, «La fábrica de ladrillo en la construcción catalana», *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña,* Barcelona (1900).

P. B. Wright, «The works of Rafael Guastavino», *Brickbuilder,* New York (abril, mayo, septiembre y octubre de 1901).

Rafael Guastavino, *The function of masonry in modern architectural structures.* New York: American Printing Co., 1904.

R. Guastavino, «Funciones de mamposteria (1895–1900)», *VI Congreso Internacional de Arquitectos.* Madrid, 1905.

Rafael Guastavino, «Fonction de la maçonnerie dans les constructions modernes», *Congrés International des Architectes. Madrid, 1904,* Madrid: Imp. J. Sastre, 1906.

Visita de S. M. el Rey Alfonso XIII a la Universidad Industrial. Barcelona, 1908.

Félix Cardellach, *Filosofía de la Estructuras.* Barcelona: Ed. Bosch, 1910.

Jaime Bayó Font, «La bóveda tabicada», *Anuario de la Asociación de arquitectos de Cataluña,* Barcelona (1910).

Jerónimo Martorell Tarrats, «Estructuras de ladrillo y hierro atirantado en la arquitectura catalana moderna» *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña,* Barcelona (1910).

J. Rubió Bellver, «Dificultats per arribar a la síntesi arquitectónica» *Anuari de l'Associació d'Arquitectes de Catalunya,* Barcelona, (1913).

Joaquín Bassegoda Amigó, «La construcción concrecionada» *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes* 3ª época, 18, 21, Barcelona (marzo de 1925).

Joaquín Bassegoda Amigó, *Apuntes de Construcción.* Original inédito (1902-1926), Cátedra Gaudí. Barcelona.

William E. Blodget, *Autobiography Guild.* Boston, 1928.

Josep Goday Casals, «Estudi i càlcul de les voltes de maó de pla» *Acadèmia Catalana de Belles Arts de Sant Jordi,* Barcelona, (1934).

Joaquim Bassegoda Amigó, «Transició de les voltes de pedra a les de maó de pla a les esglésies de Catalunya» *Acadèmia Catalana de Ciències i Arts,* 3ª época, 25, 26 Barcelona (1936).

«Últimas evolucions de la volta ogival» *Acadèmia Catalana de Belles Arts de Sant Jordi,* Barcelona (1936).

A. del Castillo, *De la puerta del Ángel a la plaza Lesseps.* Barcelona: Dalmau, (1945).

Buenaventura Bassegoda Musté, *La bóveda catalana.* Igualada: Imp. Bas, 1947.

Luis Moya Blanco, *Bóvedas tabicadas.* Dirección General de Arquitectura Madrid, (1947).

Ignacio Bosch Reitg, «La bóveda vaída tabicada». *Arquitectura* 9, Madrid (mayo de 1949).

Angel Pereda Bacigalupi, *Bóvedas tabicadas, ejemplos y cálculos resueltos.* Santander, 1951.

Juan Bargós Massó, *Materiales y elementos de construcción.* Barcelona: Ed. Bosch, 1953.

Buenaventura Bassegoda Musté, *Bóvedas tabicadas.* Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1957.

George R. Collins, «Gaudí: Structure and Form» *Perspecta* 8 Yale University (1963).

Juan Bergós Massó, «Tabicados huecos» *Colegio de Arquitectos de Cataluña y Baleares,* Barcelona (1965).

Ángel Truñó Rusiñol, *Bóvedas tabicadas.* Colegio de Arquitectos de Barcelona, 1967. Original inédito.

Turpin C. Bannister, «The Roussillon Vault» *Journal of the Society of Architectural Historians* 27, 3, New York (1968).

George R. Collins, «The transfer of thin masonry vaulting from Spain to America» *Journal of the Society of Architectural Historians* 27, 3, New York (1968) [Véase la traducción de este artículo en el presente catálogo: George R. Collins, «El paso de las cáscaras delgadas de fábrica desde España a América»].

Patricio Palomar, «En el cincuentenario de la muerte de Eusebio Güell» *La Vanguardia Española,* Barcelona (19 de septiembre de 1969).

Juan Bassegoda Nonell, «Una obra de Rosendo Nobas en mala hora perdida» *La Prensa,* Barcelona (31 de octubre de 1970).

Rafael Guastavino Seidel, *The Guastavino Family.* 1970 Archivo Cátedra Gaudí.

Patricio Palomar Collado, «Chimeneas barcelonesas» *La Vanguardia Española* (29 de septiembre de 1970).

Juan Bassegoda Nonell, *Una chimenea que hace historia.* Barcelona, octubre de 1971. Original mecanografiado. Cátedra Gaudí.

Juan Bassegoda Nonell, «Arquitectos Catalanes del siglo XIX, 9: Juan Torras Guardiola (1827–1910)» *La Prensa,* Barcelona (21 de marzo de 1972).

Juan Bassegoda Nonell, *Los Maestros de Obras de Barcelona.* Barcelona: Editores Técnicos Asociados, 1973.

X. Vilà, Ll. Folch, J. Folch Vilassar. *Ininerari II: El Nord.* Sant Genís de Vilassar, 1973.

Juan Bassegoda Nonell, «El Instituto Industrial» *La Prensa,* Barcelona, 4 de abril de 1974.

VVAA, *Campanya Centre Vilassanès (1880–1974).* Sant Genís de Vilassar (agosto de 1974).

Juan Bassegoda Nonell, «Bicentenario de los Estados Unidos» *La Vanguardia Española,* Barcelona (9 de junio de 1976).

Catàleg del Patrimoni Històric Artístic de Barcelona. Ajuntament de Barcelona, 1979.

Juan Bassegoda Nonell, «La fábrica de cemento del Clot del lloro» *La Vanguardia,* Barcelona (3 de febrero de 1982).

Juan Bassegoda Nonell, *La cerámica popular de la arquitectura gótica.* Barcelona: Editorial Nuevo Arte Thor, 1977,1983.

J. M. Montaner Martorell, *L'Ofici de l'Arquitectura.* Barcelona: Ediciones UPC, 1983.

Asunción Feliu Torras, «Juan Torras Guardiola (1827–1910)» *Koiné* 5, Madrid (febrero de 1986).

T. Miranda, F. Bermejo, M. P. Mónaco, J. C. Capilla, «Rafael Guastavino i la construcció cohesi-va» *Quaderns d'Arquitectura i Urbanisme COAC,* Barcelona (3er. trimestre de 1986).

M. Nadal, «Can Batlló, de recinte fabril a Escola Industrial (1869–1931)» *L'Avenç* 99, Barcelona (1986).

F. Cabana, A. Feliu, *Can Torras dels ferros.* Barcelona: Gràfiques Hostench, 1987.

J. Rosell, I. Serra, *Els estudis d'Esteve Terrades sobre la volta de maó de pla: 50 anys de ciència i tècnica a Catalunya.* Barcelona, IEC, 1987.

L. Permanyer, «Un friso recuperado» *La Vanguardia,* Barcelona (septiembre de 1988).

Juan Bassegoda Nonell, *El gran Gaudí.* Sabadell: Ausa, 1989.

Cristina Sagarra, «Estudio monográfico de la Casa Casademunt» *Archivo Cátedra Gaudí* (1987).

Joan Bassegoda Nonell, «Gaudinisme als Estata Units» *IV Jornades d'Estudis Catalano-americans.* Barcelona (octubre de 1990).

VVAA, *New York-Catalonia.* Barcelona: Generalitat de Cataluña, 1990.

A. García Espuche, *El Quadrat d'Or.* Barcelona: Lunwerg, 1990.

Juan Bassegoda Nonell, «San Juan el Divino de Nueva York» *ABC Cataluña,* Barcelona (28 de agosto de 1991).

Juan Bassegoda Nonell, *Aproximación a Gaudí.* Aranjuez: Doce Calles, 1992.

Riccardo Gulli, «Le volte in folio portanti». *ARCO,* Roma, (1993).

Joan Bassegoda Nonell, «Rafael Guastavino a América». *V Jornades d'Estudis Catalano-americans,* Barcelona (mayo de 1993).

Joan Bassegoda Nonell, «Els estudis de Guastavino». *Temple,* Barcelona (septiembre-octubre de 1993).

Caryl Eduardo Jovanovich Lopes, «Rafael Guastavino Moreno». *Programa de Doctorado 1993–1994,* Archivo Cátedra Gaudí.

Riccardo Gulli, *Le Corbusier a la volta catalana.* Ancona: Clua Ed., 1994.

Jaume Rosell, *Guastavino.* Fundació Catalana per a la recerca, 1994.

Riccardo Gulli, Giovani Mochi, *Bóvedas tabicadas, architettura e costruzione.* Roma: CDP Editrice, 1995.

Francesc Carbonell, Valentí Costa, *Els Guastavino, Asignatura d'Art.* Barcelona: ETSECCP, 1984–1985, Archivo Cátedra Gaudí.

Joan Bassegoda Nonell, *L'Estudi de Gaudí Sagrada Familia.* Barcelona, 1996.

Carlos Flores, «El Viejo mundo construye el Nuevo» *Arquitectura,* Madrid (2º trimestre de 1997).

Janet Parks, Alan G. Neumann, «The Old World Builds the New» *Avery Architectural Library,* Columbia University New York (1989).

Buenaventura Bassegoda Musté, *La bóveda catalana.* Zaragoza: Instituto Fernando el Católico, 1997.

Juan Bassegoda Nonell, «El monumento a los Héroes de Urica» *Miscel.lània Bassegòtica,* Barcelona: Real Cátedra Gaudí, 2000.

Rafael Guastavino Expósito (1873–1950)

Joan Bassegoda

Hijo de Rafael Guastavino Moreno y Pilar Expósito, nació en Barcelona y, el 26 de febrero de 1882, embarcó para Nueva York con su padre. Al poco fue enviado como interno a un colegio de Southwilton (Connecticut), donde progresó en sus estudios de inglés y otras disciplinas. A los once años, en otoño de 1883, pasó a una escuela de Nueva York y a trabajar en la oficina paterna donde se familiarizó con la delineación de planos. Se graduó de primera enseñanza en 1887. Estudió en la Biblioteca Pública de Boston historia de la arquitectura y temas científicos de su interés. Un ingeniero colaborador de su padre le introdujo en el estudio de la estática gráfica.

Rafael hijo trabajó con el socio de su padre William Blodgett y se hizo un buen contratista de obras. Rafael padre se había construido una casa (curiosamente de madera y no de ladrillo) en Black Mountain (Carolina del Norte), donde pasaba largas temporadas dejando la compañía en manos de su hijo. A fines de siglo montaron los dos Guastavino y W. Blodgett una ladrillería en Woburn (Massachussets), que les permitió establecer definitivamente la «R. Guastavino Company». En 1903 la familia Seidel de Brooklyn alquiló una habitación a Rafael hijo, que ocupaba cuando no estaba en la oficina de Boston o de vacaciones en Black Mountain. Rafael padre se casó con la mexicana Francisca Ramírez al tener noticia del fallecimiento de su primera mujer. El 1 de febrero de 1908 murió Rafael Guastavino Moreno después de tres años retirado en Carolina del norte dejando la compañía en manos de Rafael hijo y de W. Blodgett. Después de un extraño pleito contra Guastavino interpuesto por Seidel, acabó el asunto con el matrimonio de Rafael Guastavino Expósito con Elsie Seidel de 22 años, siendo bautizada como católica antes de la boda, puesto que era episcopaliana.

Entre tanto, Guastavino hijo había completado su obra más grande, la cúpula de casquete esférico de bóveda tabicada de San Juan el Divino en Nueva York. En 1912, el matrimonio, que residía en una mansión en Brooklyn, hizo un largo viaje por México, Europa y Egipto. En diciembre de 1913 nació Rafael Guastavino Seidel y en noviembre del año siguiente su hermana Louise. Guastavino desarrolló la técnica del ladrillo con granulado de piedra pómez recubierto de cemento. Un material resistente y ligero. En 1923 sufrió un ataque de ictericia, fue operado y luego pasó la convalecencia en Nassau, en las Bahamas durante un mes. En 1926 la familia visitó Argentina y encontraron a los Guastavino de aquella república y a sus descendientes. Rafael Guastavino Seidel ingresó en una academia militar y luego en la Universidad de Garden City, cerca de Long Island. William Blodgett murió en 1931 y Guastavino siguió con la compañía, que pudo superar la crisis de 1929. Rafael Guastavino Seidel no hizo carrera y además tenía una salud delicada. En 1941 sus padres se divorciaron y la madre se casó con otro. Rafael Guastavino Expósito se jubiló en 1942, vendió sus acciones a Blodgett hijo y en invierno de 1943 sufrió una hemiplejia quedando inválido. Murió en Nueva York el 19 de octubre de 1950, después de una larga visita a la ciudad de Barcelona.

El paso de las cáscaras delgadas de fábrica desde España a América

George R. Collins

Ahora que las estructuras laminares, las cáscaras, ya no se consideran un monopolio de la ingeniería y que han empezado a desempeñar un papel significativo en el diseño y la imagen de nuestra arquitectura, resulta de interés para los historiadores buscar los orígenes de este tipo de construcción, y en especial dónde pueden encontrarse dentro de la propia tradición arquitectónica. El desarrollo histórico de la estructura metálica, del muro cortina de vidrio y del hormigón han sido objeto de una cuidadosa documentación en los últimos años; sería adecuado estudiar ahora los prototipos de estas nuevas estructuras superficiales curvas —ni de hierro ni de vidrio— que se ven cada vez con mayor frecuencia en nuestro paisaje urbano y natural.

Nuestra intención en este texto es examinar solamente un método precursor de las modernas cáscaras de hormigón —o análogo a ellas— y, más concretamente, cómo un antiguo sistema mediterráneo para la construcción de bóvedas delgadas de fábrica alcanzó su perfección en Cataluña y luego, en el decenio de 1880, llegó a los Estados Unidos, floreció bajo unas condiciones distintas en el continente americano y llegó a producir notables construcciones y espacios que superaron con mucho todo lo conocido en su país de origen. Todo este episodio ha merecido muy poca o ninguna atención en los textos sobre la historia de la arquitectura del siglo XX, lo que resulta curioso porque fue precisamente este sistema de abovedado el que hizo posible esos singulares efectos espaciales de algunos de los edificios más selectos diseñados por eminentes estudios de arquitectos norteamericanos entre los años 1880 y 1940.

Lo que nos interesa, básicamente, es la historia de los Guastavino, padre e hijo (ambos llamados Rafael), y su método constructivo, que en los manuales profesionales de la época se denominaba «Guastavino System» (Sistema Guastavino) de «bóvedas de panderete» o tabicadas (timbrel vaults), «arcos planos» (flat arches) o «construcción resistente al fuego».

Ya desde el principio sería útil diferenciar claramente —sin ponernos muy técnicos— entre las bóvedas tabicadas y las bóvedas de fábrica de piedra, más habituales.

Las bóvedas de las que hablamos (Fig. 1, b) son muy delgadas, ya que constituyen poco más que una superficie, y obtienen su rigidez no de su solidez o su grosor, sino más bien de su forma geométrica particular, a saber, de su tipo de curvatura (Fig. 2).

La estructura de estas bóvedas no se compone de dovelas convencionales con forma de cuña y dispuestas radialmente (Fig. 1, a), sino de piezas cerámicas anchas y delgadas llamadas «rasillas» que se colocan de plano con respecto a la curva de la bóveda, normalmente en dos o más capas (Fig. 1, b). Estas rasillas, cuando forman una lámina, se disponen de modo que cubran o «maten» las juntas de las capas adyacentes. Al hacer esto en diagonal (Figs. 1, c y 1, d) se asegura un solape en ángulo recto de todas las juntas y, al mismo tiempo, se consigue que cualquier rasilla que se hubiese combado, debido a las altas temperaturas del proceso de cocción, pueda insertarse fácilmente entre sus vecinas de la misma capa. En las cúpulas, sin embargo, las rasillas se disponen a veces formando anillos que se corresponden con los paralelos de la semiesfera.

Hay que señalar que los elementos de estas bóvedas no se mantienen unidos a causa del rozamiento producido por la presión de unas piezas sobre otras debido a su propio peso, como sabemos que ocurre en las bóvedas

Impreso y traducido, con autorización de Christiane Crasemann Collins, del original: «The transfer of thin masonny vaulting from Spain to America», *Journal of the Society of Architectural Historiaus* 27 (1968): 176-201. Traducción de Jorge Sáinz.

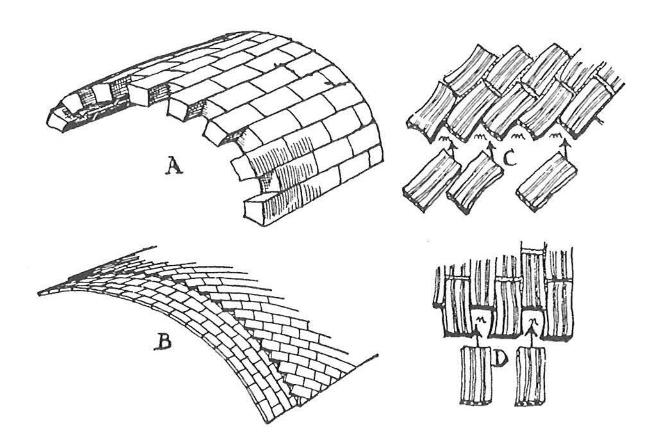


Figura 1
Comparación entre bóvedas de piedra y tabicadas. (Moya, *Bóvedas tabicadas)*

convencionales; por el contrario, las rasillas están simplemente «pegadas» con un mortero tan tenaz que en general se romperían o se rajarían antes de que el mortero se separase. La acción que tiene lugar en la bóveda se aproxima a la de una lámina de contrachapado, cuyas capas de madera se rajarían antes de que el adhesivo cediera; por eso es lógico que en castellano se denominen «bóvedas tabicadas», una expresión que describe acertadamente tanto su constitución como su funcionamiento. El mortero no es simplemente una base para las juntas de grandes dovelas de piedra; es una espesa capa situada entre las rasillas y a su alrededor, que constituye aproximadamente el 50% de la fábrica, de modo que el conjunto se convierte, por decirlo así, en una especie de hormigón hecho con un conglomerado de piezas sumamente regulares: las rasillas. Rafael Guastavino padre dividía toda la arquitectura en dos categorías: el sistema mecánico o por gravedad (que, ya sea con dinteles o con arcos, podría funcionar teóricamente con juntas a hueso) y el sistema orgánico o por cohesión (del que es ejemplo nuestro tipo de abovedado), en el que el recurso estabilizador es la adhesión y no el rozamiento producido por el propio peso de la fábrica. Al sistema cohesivo pertenece

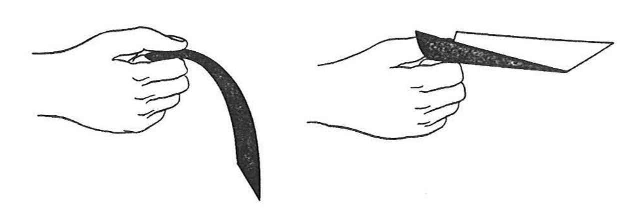


Figura 2
Una superficie (de papel), incapaz de sostener su propio peso, puede soportar esa carga y algo más si se le da una ligera curvatura (Salvadori y Keller, *Structure in Architecture*, Nueva Jersey: Englewood Cliffs, 1963; [versión castellana: *Estructuras para arquitectos*, Buenos Aires: CP 67, 1987, 3ª edición])

también buena parte de la arquitectura romana, bizantina e islámica, y casi toda la construcción con hormigón. La distinción que hacía Guastavino entre los sistemas por gravedad y por cohesión podría remontarse razonablemente al modo en que Humphrey Repton había diferenciado las construcciones griega, gótica e india.[1] Ya que sin duda Guastavino sentía debilidad por los estilos arquitectónicos orientales, muchas de sus construcciones eran cúpulas de tipo bizantino, y en todos sus escritos se aprecia una clara predilección por los estilos persas, bizantinos o árabes.

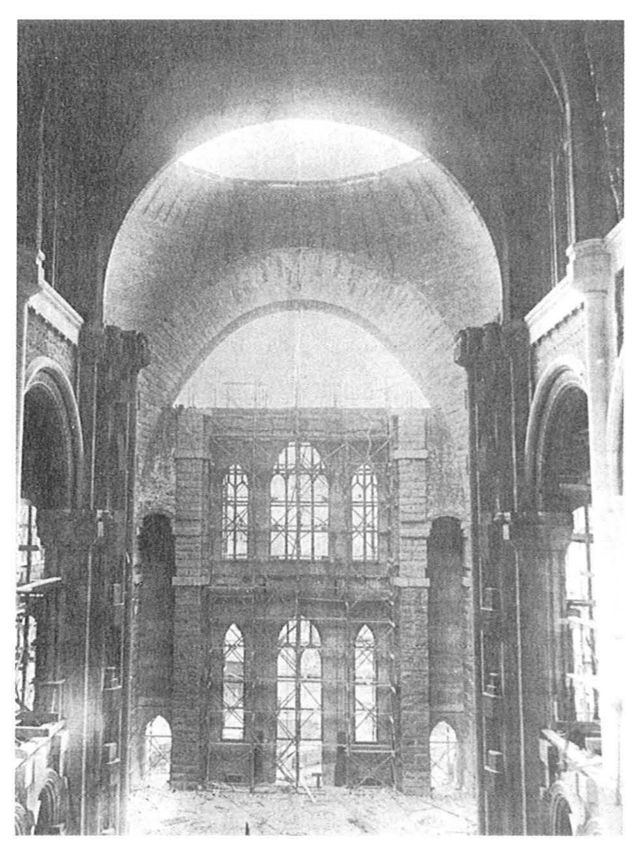


Figura 3
Terminación de la cúpula de la catedral de San Juan el Divino. Los camones que se atornillaron de un lado a otro de la cúpula para mantener la curvatura pueden verse en posición radial hacia abajo, pero no se aprecia ninguna cimbra (Archivo Guastavino, Universidad de Columbia)

Debido en parte a las propiedades mencionadas, las bóvedas tabicadas pueden levantarse generalmente sin cimbras; ocasionalmente pueden emplearse andamios para sostener a los obreros, y con frecuencia se usan formas u otros dispositivos para controlar la curvatura, pero la fábrica tiende a soportarse a sí misma a medida que se va formando, algo que no hacen ni el hormigón recién vertido ni los arcos con dovelas. Guastavino observó que las cimbras de madera absorben la humedad

de los morteros, se expanden contra las dovelas, y con ello reducen las fuerzas de compresión dentro de la bóveda, justo en el momento crítico del fraguado de un mortero moderno de secado rápido, en detrimento de la cohesión en la bóveda.[2] Es habitual trabajar «al aire» al tender las bóvedas, es decir, con los albañiles apoyándose en la parte recién realizada y asomándose hacia fuera para extender la fábrica por debajo y por delante. Un caso espectacular de este método fue la construcción, en 1909, de la cúpula situada en el crucero de la catedral de San Juan el Divino, en Nueva York. Para ello se tomaron grandes precauciones, mediante el empleo de un teodolito y otros aparatos, con objeto de asegurar la apropiada curvatura de la semiesfera. Los obreros colocaban cada día un anillo de unos 45 centímetros apoyándose para ello en la obra realizada el día anterior, y sin nada que se interpusiera entre ellos y el suelo de la iglesia, situado unos 45 metros más abajo. Las obras avanzaron sin incidentes, y se terminaron en quince semanas (Figs. 3 y 4).[3] El hecho de que estas bóvedas puedan levantarse con un andamiaje mínimo parece derivar de la rapidez con la que fragua el mortero y de la colocación de los ladrillos.[4] En la mayoría de los países en los que se ha empleado este tipo de bóveda, la primera hoja se construye con yeso, que no resiste la intemperie, pero ofrece una sujeción casi inmediata. Esta hoja del intradós, en especial cuando se completa y forma un arco, servirá de soporte para las hojas de refuerzo, que se colocan con un mortero menos frágil y más impermeable, como un cemento natural o artificial.[5] Lo que se consigue así es que la bóveda tabicada soporte una extraordinaria carga casi inmediatamente, incluso antes de estar terminada. A los obreros les encantaba demostrarlo, como se puede ver en las figuras 5 y 7.

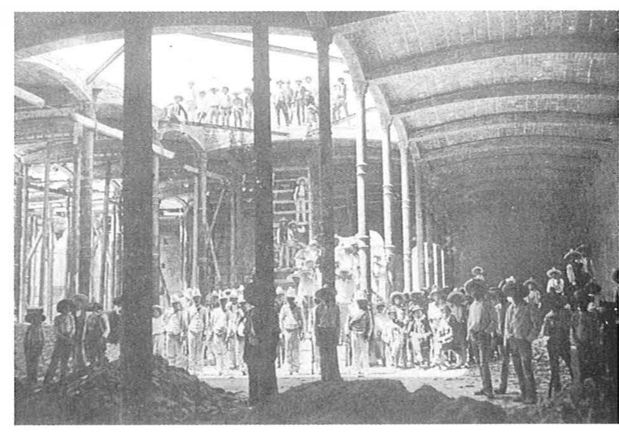


Figura 5
Construcción del mercado de Zacatecas, México. El caballero con bombín que está sentado parece ser Rafael Guastavino padre, pero no hay pruebas de que las bóvedas fuesen construidas por su empresa, en cuyos archivos se encontró esta foto

Como veremos, estas bóvedas no sólo tienen algo de espectacular y de desafío a la gravedad, sino también un aire de misterio precisamente con relación a cómo y por qué funcionan de esa manera, y a si puede desarrollarse una teoría precisa para explicarlas y/o calcularlas desde un punto de vista estructural. Por ejemplo, autores de reconocido prestigio en el uso de bóvedas tabicadas di-

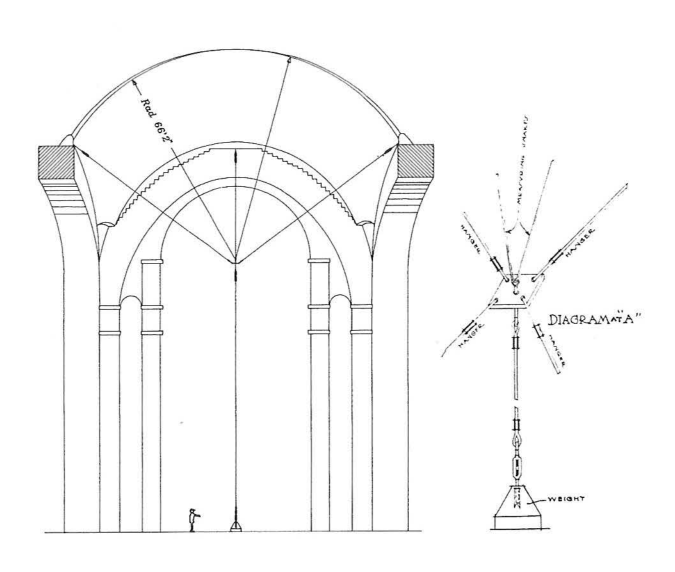


Figura 4
Nueva York, catedral de San Juan el Divino. Diagrama que muestra el método de obtener la curvatura de la cúpula sobre el crucero (Archivo Guastavino, Universidad de Columbia)

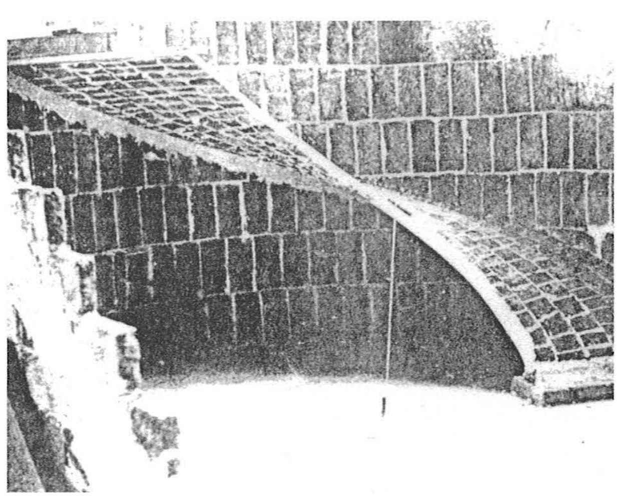


Figura 6
Escalera de bóveda de una sola hoja que mantiene su forma gracias a la pared contigua. La bóveda está tan tensa que cuando se la golpea resuena como un tambor, lo que justifica el nombre de «bóveda de panderete». Si se le añade algún refuerzo y más capas, la pared puede eliminarse y la bóveda se sostiene sola. Ensayo del profesor Antonio Pujol, Barcelona (fotografía: Pujol)

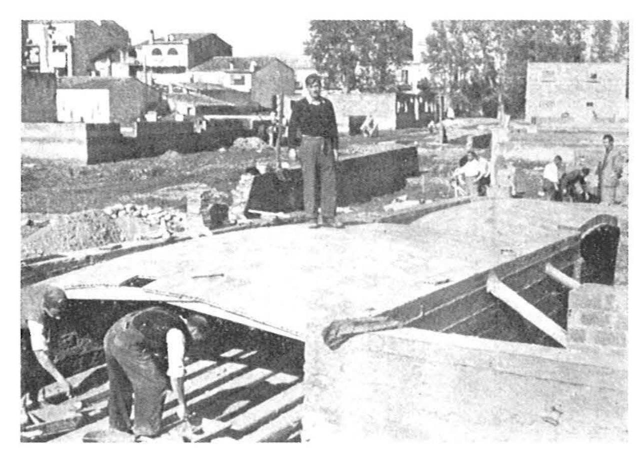


Figura 7
Bóvedas vaídas de una hoja, diseñadas por Ignacio Bosch Reitg, Gerona (véase nota 6)

sienten en cuanto a la importancia del proceso de doblado. Los Guastavino —responsables de los ejemplos más audaces que se levantaron— consideraban que la estabilidad de estas bóvedas tenía su origen en sus múltiples hojas, que incrementaban la superficie de las juntas unidas con mortero y contribuían a resistir el pandeo. Sin embargo, en España se emplean a veces bóvedas tabicadas de una sola hoja (Figs. 6 y 7), y un especialista ha insistido en que el uso de más de una capa de ladrillos sobrecarga la estructura.[6]

Una última característica, relacionada con su carácter de cáscara continua, es que, una vez construidas, estas bóvedas pueden perforarse al azar sin riesgo para su estabilidad. Esto significa que en los edificios existentes se pueden practicar importantes orificios en las bóvedas para el paso de todo tipo de instalaciones mecánicas. Una espectacular demostración de la capacidad de estas bóvedas para resistir grandes perforaciones tuvo lugar durante la construcción de la obra de Guastavino en la Biblioteca Pública de Boston. En 1892, un bloque de piedra de dos toneladas de peso se precipitó accidentalmente sobre uno de los pisos inferiores, lo que habría supuesto un desastre para cualquier bóveda normal de piedra y para muchas de las contiguas. En este caso, por el contrario, el agujero irregular (Fig. 8) simplemente se arregló con un parche, como un neumático sin cámara al que se le pone un tapón, y la bóveda reparada todavía está en pie.[7]

Comparadas con el abovedado tradicional de piedra o ladrillo, con los edificios de muros de carga y vigas de madera habituales en los Estados Unidos, e incluso con algunos sistemas de vigas de acero, las bóvedas tabicadas poseen numerosas ventajas. Algunas de ellas pueden

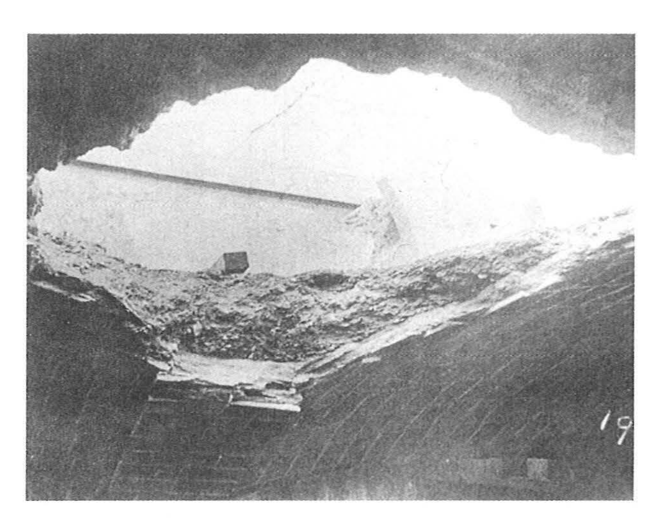
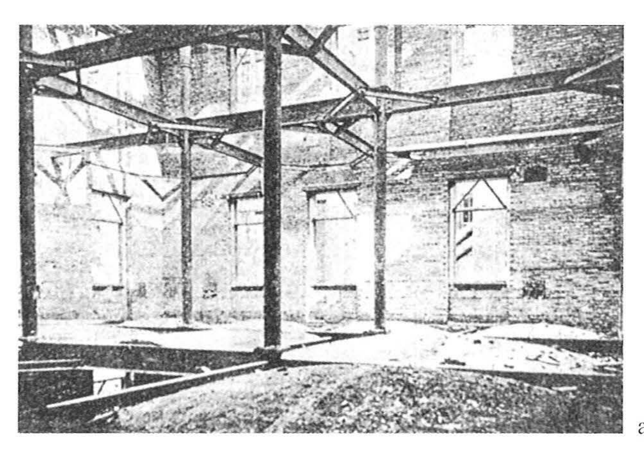
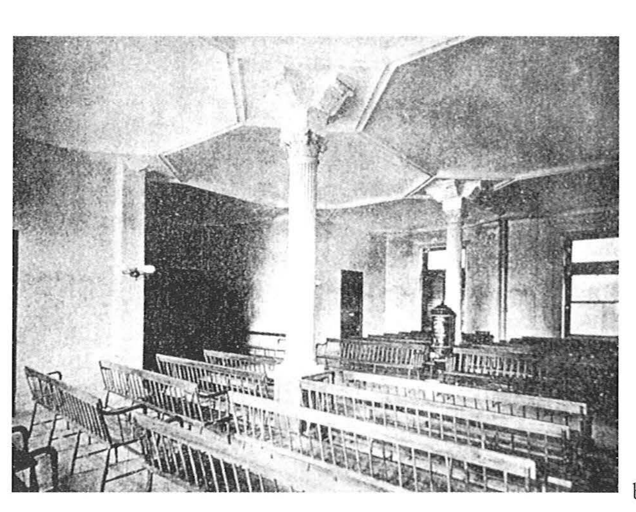


Figura 8
Lugar por el que un bloque de piedra atravesó las bóvedas y un nervio desde una altura de unos 12 metros, en la Biblioteca Pública de Boston, en 1892 (Archivo Guastavino, Universidad de Columbia).



a



b

Figura 9
Construcción de forjados según el Sistema Guastavino en el dispensario del Hospital Monte Sinaí de Nueva York. Fig. 9a, vista de la estructura de hierro antes de construir las bóvedas; Fig. 9b, la misma vista, con las bóvedas enlucidas de yeso en el intradós. Arquitectos: Buchmann & Deisler, Brunner & Tryon. *American Architect and Building News* (7 de marzo de 1891)

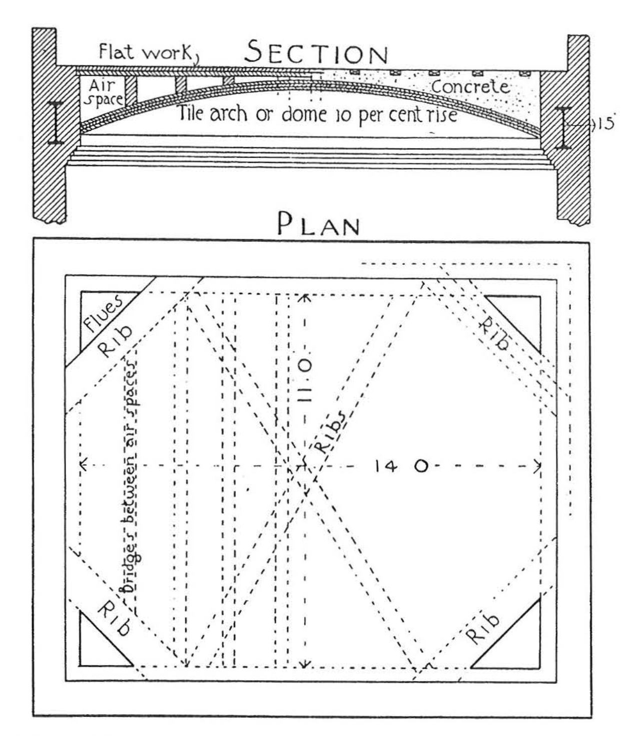


Figura 10
Bóveda de Guastavino levantada para el ensayo de incendio que se describe en la nota 9. La figura muestra los dos métodos de apoyar un forjado sobre una bóveda vaída

explicar la popularidad del sistema de Guastavino en ese país antes y después de 1900.

La bóveda tabicada es sumamente ligera en comparación con las bóvedas habituales de dovelas de piedra o rosca de ladrillo, si bien las de varias hojas probablemente sean más pesadas que una moderna bóveda de hormigón armado de la misma resistencia. Se ha afirmado que las modernas láminas de una hoja pueden soportar una carga cinco veces superior a lo que resistiría un forjado equivalente de vigas de acero.[8]

Debido a su naturaleza esencialmente monolítica, estas bóvedas ejercen muy poco empuje lateral y, por tanto, pueden hacerse muy rebajadas (flecha de 30 cm —1 pie— para 3 a 6 m de luz), de modo que pueden encajar sus bordes —si se trata de casquetes esféricos— entre las dos alas de los perfiles metálicos del contorno (Fig. 9), pudiendo emplearse como forjados abovedados en edificios de estructura de acero.

Al estar compuestas de cerámica y cemento hidráulico, estas bóvedas son completamente incombustibles y se oponen a la propagación del fuego; a su vez, las rasillas protegen el mortero de la acción destructiva de las altas temperaturas. En sus actividades de promoción, los Guastavino destacaron este hecho, llamaron a su empresa la «Compañía Guastavino de construcción resistente al fuego» (Guastavino Fireproof Construction Company), e indudablemente se aprovecharon de la preocupación en cuanto a protección contra incendios y ordenanzas de seguridad que caracterizó a los profesionales de la arquitectura y la construcción a finales del siglo XIX y principios del XX. El 2 de abril de 1897 se llevó a cabo en Manhattan un extraordinario ensayo de incendio de una bóveda modelo, del que incluimos un informe completo en la nota 9. Que sus materiales eran también más resistentes al fuego que la *piedra* quedó demostrado de manera espectacular en el desastroso incendio de un andamio que se declaró durante las obras de la iglesia de Riverside en Nueva York, en 1928. Como se aprecia en la figura 11 —que la Compañía usó después como propaganda—, los nervios y la plementería, de Guastavino (en este caso un material denominado «Akoustolith») sobrevivieron sin daño alguno, mientras que la piedra convencional se quebró y se hizo añicos por efecto del calor intenso.

Por lo que respecta a la resistencia mecánica, ya hemos mencionado que una bóveda cerámica puede resultar mejor, a igualdad de peso, que las vigas de acero. La figura 12 muestra un ensayo que también se llevó a cabo en Manhattan (1901), en el que una bóveda de tres hojas con una luz de 3,65 metros fue sometida a una carga de 51 toneladas. En el supuesto de que se pudiera conseguir un reparto uniforme de la carga (ya sea mediante una retí-

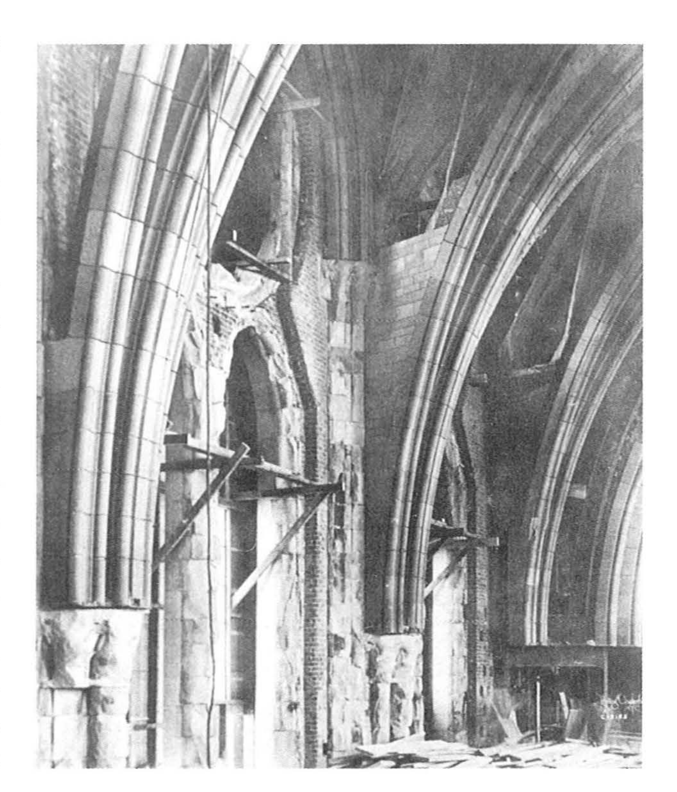


Figura 11
Daños sufridos por la cantería de piedra en la iglesia de Riverside, Nueva York, debido al incendio del andamio (1928). Los nervios y las bóvedas de Guastavino resultaron indemnes (Archivo Guastavino, Universidad de Columbia)



Figura 12
Prueba de resistencia de una bóveda tabicada. La bóveda de tres hojas, con una luz de 3,65 metros, casi no se ve debajo de la carga de 51 toneladas en lingotes de hierro (23 de mayo de 1901) (Archivo Guastavino, Universidad de Columbia)

cula de tabiquillos que sostengan el forjado superior o mediante un relleno de hormigón, véase Fig. 10), la bóveda tabicada puede sostener unas cargas enormes, como ocurre con las bóvedas de las criptas que soportan el piso principal de la catedral de San Juan el Divino (Fig. 13).

Ya hemos señalado la naturaleza relativamente indestructible de la fábrica de estas bóvedas, algo que puede observarse también cuando los modernos equipos de demolición trabajan en ellas. Las bóvedas del Museo Metropolitano[10] presentaron considerables dificultades para su eliminación. En diversas visitas a las obras de demolición, quien esto escribe no logró encontrar una sola rasilla entera entre los escombros; [11] el conjunto había demostrado ser tan homogéneo y tan rígido que los obreros usaban con confianza los martillos neumáticos apoyándose en los restos de las bóvedas que volaban hasta 2,5 m.

En los Estados Unidos, la bóveda tabicada fue víctima del precio cada vez mayor de la mano de obra en la albañilería. Sin embargo, en sus mejores momentos el coste era relativamente bajo y por esto se usó como un sustituto ligero y barato del abovedado de dovelas en prácticamente todos los edificios religiosos levantados en este país con fábricas de estilos neogótico, neorrománico y neobizantino. En los países donde la mano de obra no era tan prohibitiva —por ejemplo, en España— la bóveda tabicada se usaba mucho en lugar del acero o el hormigón con diversos propósitos. Durante la II Guerra Mundial y en los años siguientes, cuando había escasez de acero, se promovió la construcción con este tipo de bóvedas en Francia[12] y Argelia.[13] Es de suponer que todavía hoy sería útil en los países subdesarrollados que dispongan de buena arcilla y cementos hidráulicos.

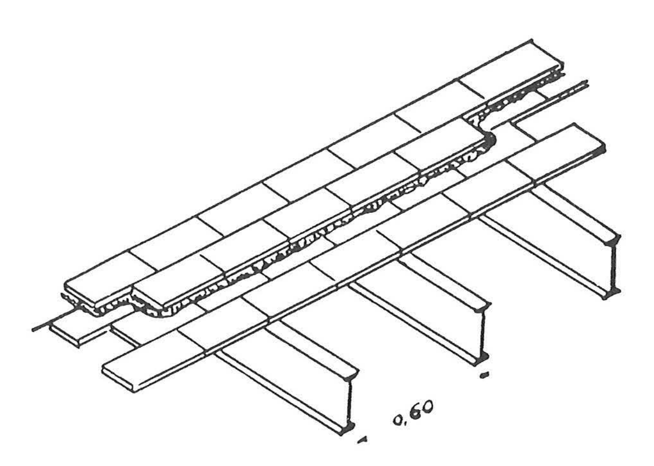


Figura 14
Diagrama de un forjado cerámico de varias capas, apoyado en vigas de perfil doble T (Rubió, *Cálculo funicular*)

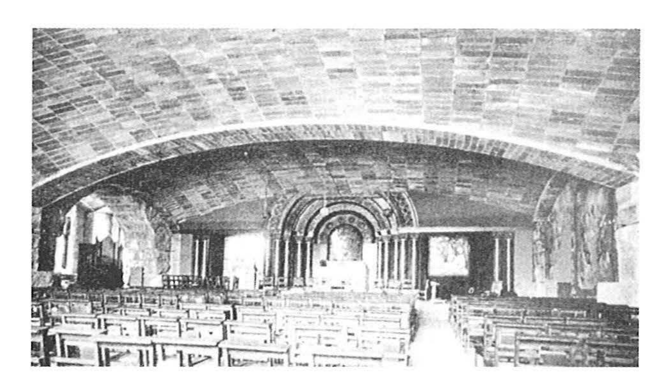


Figura 13
Cripta de la catedral de San Juan el Divino cuando todavía se usaba para oficios religiosos. La bóveda del techo, con luces de unos 16 por 20 m, soporta el forjado del coro que está encima. La carga admisible es de algo menos de 1.500 kilos por metro cuadrado. En su construcción no se usó nada de hierro. Arquitectos: Heins & La Farge (Archivo Guastavino, Universidad de Columbia)

Si clasificamos estas bóvedas cerámicas en categorías relativas a su forma geométrica, apreciamos cierta idea de versatilidad.

Aunque ya hemos destacado la resistencia que adquieren estas bóvedas gracias a la curvatura, con frecuencia se han empleado —sobre todo en España— como superficies completamente planas:

a) Como suelos o forjados (Fig. 14), donde se aprecia que no requieren apoyos bajo cada rasilla.[14]

b) Como muros o tabiques. La figura 15 ilustra una escuela de Gaudí que es excepcional porque el arquitecto decidió doblar la superficie según una curva sinusoi-

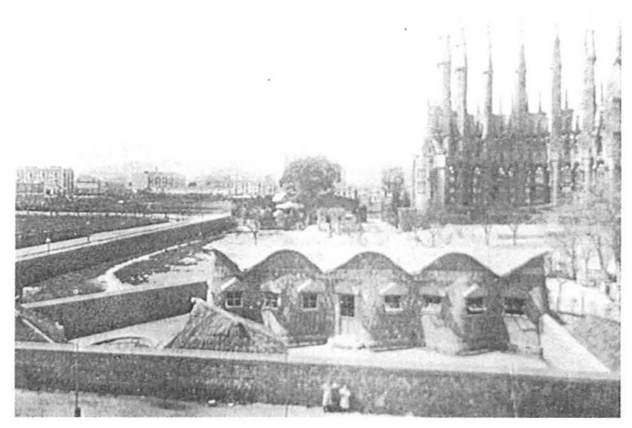


Figura 15
Barcelona, escuela de la Sagrada Familia, 1909 (Gaudí) (Archivo Mas, Barcelona)

dal para lograr más rigidez y por otros motivos que no nos interesan aquí.[15]

c) Como arcos diafragma o perpiaños. Éstos se usan con frecuencia, ocultos, para apoyar los forjados encima de las bóvedas tabicadas, pero Gaudí los dejó vistos para sostener la cubierta de la casa Milá (Fig. 16).

También pueden usarse las sencillas bóvedas de cañón de curvatura simple, entre las que es muy común la de tipo renacentista, con lunetos. Sin embargo, son más populares las superficies de doble curvatura; por ejemplo, una bóveda esférica de poca flecha inscrita en una crujía de planta cuadrada: lo que en español se llama «bóveda vaída» y en francés «bóveda imperial».[16] Este tipo se apoya a veces en anchos nervios tabicados de múltiples hojas, (Fig. 17) o bien puede acomodarse en un marco de vigas metálicas, como ya hemos visto (Fig.

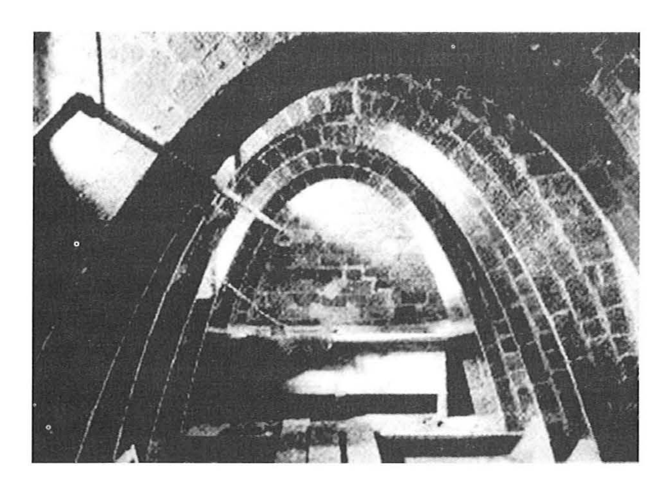


Figura 16
Ático de la casa Milá (1905-1910) en Barcelona, de Gaudí. Se aprecia el uso de arcos diafragmas de una hoja como elementos de apoyo

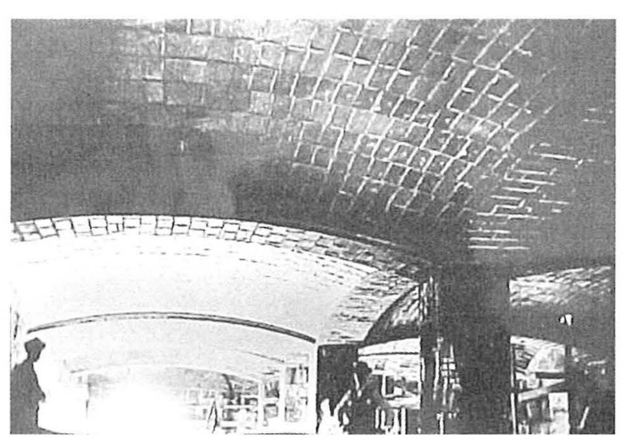


Figura 17
Bóvedas tabicadas apoyadas en arcos tabicados de varias hojas (sin refuerzos metálicos) que soportan la planta baja de la Biblioteca Pública de Boston. Arquitectos: McKim, Mead & White (Archivo Guastavino, Universidad de Columbia)

9). En salas grandes y rectangulares, más largas que anchas, estas bóvedas pueden adoptar una forma elíptica.

Mientras que en los Estados Unidos los Guastavino se vieron forzados, por cuestiones de gusto, a emplear

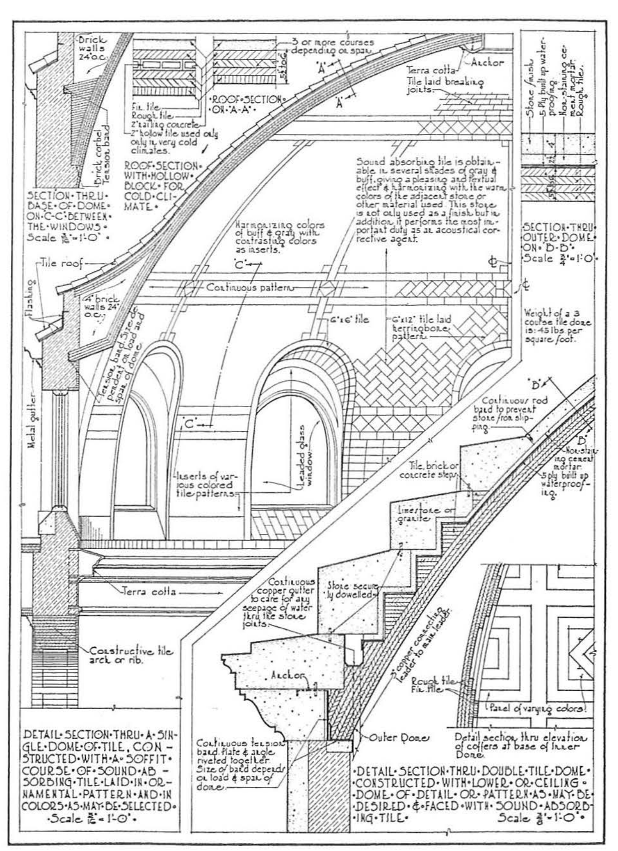


Figura 18
Hoja de detalles constructivos de la Compañía Guastavino para una cúpula con cubierta de teja o de piedra (Archivo Guastavino, Universidad de Columbia)

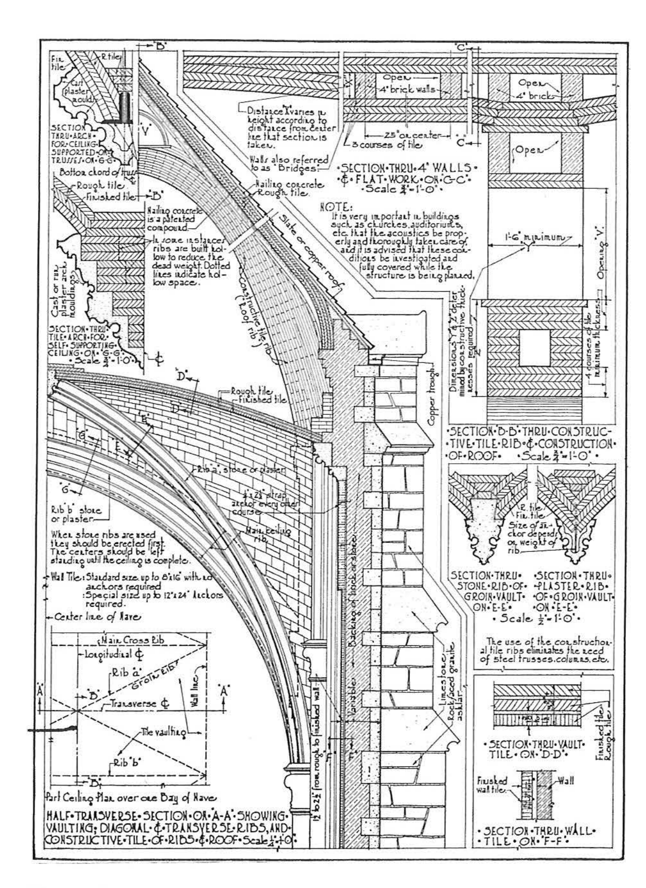


Figura 19
Hoja de detalles constructivos de la Compañía Guastavino para una bóveda de crucería gótica, con o sin nervios de piedra. Nótese que el empleo de rasillas de varios tamaños en el intradós imita la plementería pétrea de las bóvedas góticas (Archivo Guastavino, Universidad de Columbia)

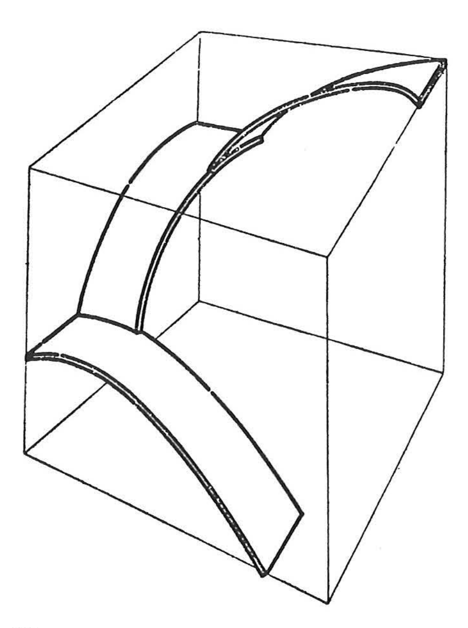


Figura 21
Diagrama de una escalera de bóveda tabicada que asciende en tramos parabólicos, cada uno de los cuales nace del borde libre del tramo inferior (Casinello, *Bóvedas de ladrillo)*

muchas de sus bóvedas en edificios de estilo historicista (Figs. 18 y 19), en España el ejemplo de Gaudí llevó a un uso inicial de las bóvedas tabicadas en formas que sólo podríamos asociar con las actuales cáscaras de hormigón. Gaudí ya utilizaba superficies regladas, como el hiperboloide y el paraboloide hiperbólico, en torno a 1900. La figura 20 muestra una iglesia diseñada con esas bóvedas.



Figura 20
Barcelona, iglesia de San Medir, 1960. Cubiertas en forma de paraboloide hiperbólico construidas con hojas de rasillas. Arquitecto: Jordi Bonet (foto J. Gómez, Barcelona)

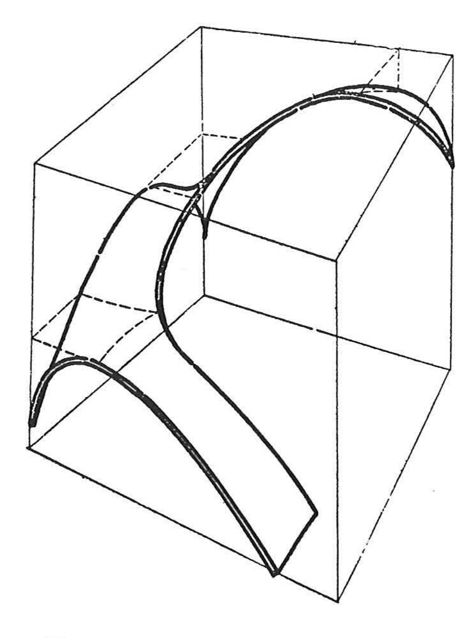
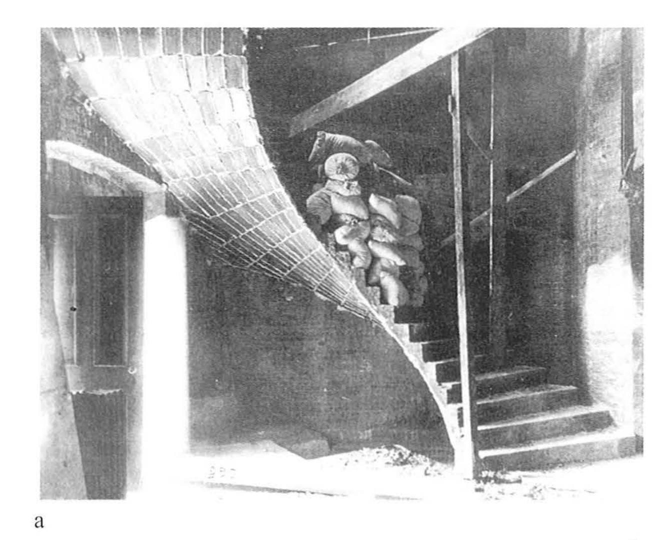
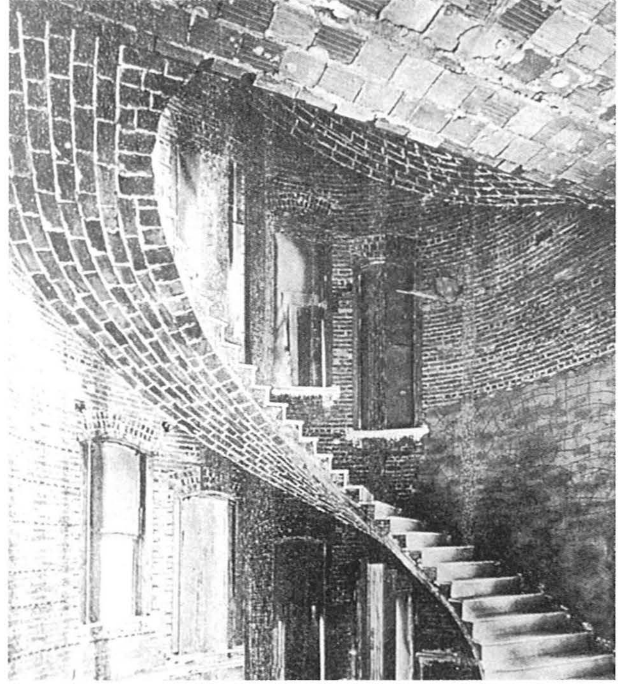


Figura 22
Diagrama de una escalera de bóveda tabicada con pechinas de esquina (Casinello, *Bóvedas de ladrillo)*


a


b

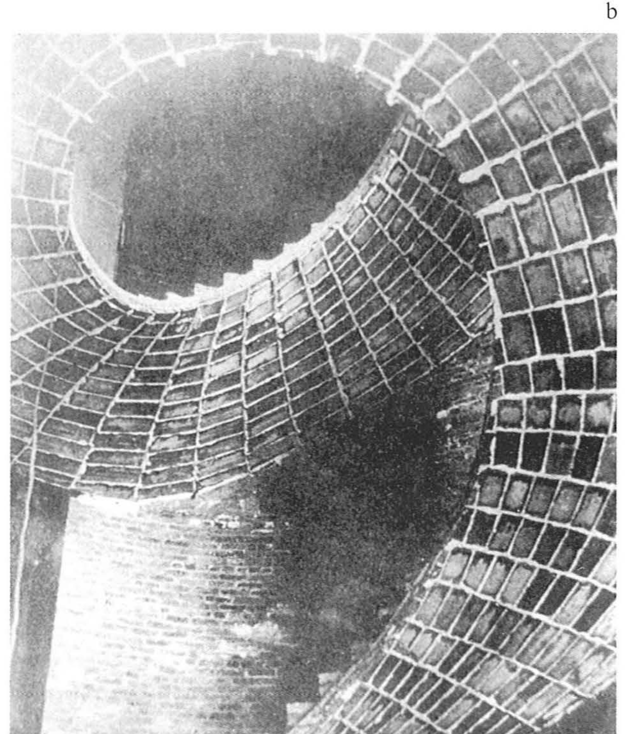

c

Figura 23
Fig. 23a, escalera helicoidal elíptica del First National Bank de Patterson, N. J., hacia 1890 (Archivo Guastavino, Universidad de Columbia); Fig. 23b, prueba llevada a cabo en la escalera helicoidal de la First Church of the Christ Scientist, Nueva York, hacia 1900 (Archivo Guastavino, Universidad de Columbia); Fig. 23c, helicoide de la escalera del Union Club de Nueva York (1901–1902), vista desde abajo. Arquitectos: Cass Gilbert, John du Fais (Archivo Guastavino, Universidad de Columbia)

Una especialidad auténticamente catalana, de uso inmemorial y efecto espectacular, es la bóveda de escalera. Hay varios tipos. El de perfil parabólico parece mágico en el modo en que cada tramo parece saltar desde el borde libre del tramo inferior (Fig. 21).[17] El tipo con pechinas de esquina (Fig. 22) tal vez sea más fácil de entender en el contexto de las bóvedas esféricas que hemos examinado. El tipo helicoidal es sin duda el más fluido en sus líneas y, al igual que los demás, plantea al no iniciado en el comportamiento de las bóvedas tabicadas el problema de qué es lo que sostiene el borde libre interior (Figs. 23 a, b y c).

Los orígenes históricos de este tipo de abovedado no están nada claros.[18] Los Guastavino trajeron este método a los Estados Unidos desde España —concretamente desde Cataluña—, si bien estas bóvedas también se usaban mucho en la región de Extremadura. Cataluña se especializó en ellas, por lo que en España también se denominan bóvedas «a la catalana»; sin embargo, los catalanes no se atreven a adjudicarse su origen.

Si buscamos los orígenes últimos de esta bóveda «a la catalana», hay que señalar algunas de sus características:

1. Su fábrica cohesiva. En este caso hay que remontarse a la antigüedad remota. Las primeras bóvedas de Egipto eran de este tipo. La tradición continuó en el

abovedado de los bizantinos, los sasánidas y los musulmanes, como ya hemos mencionado.

2. La posibilidad de construir la fábrica al aire y sin cimbras, lo que es casi una consecuencia de su cohesión. Las bóvedas egipcias de cañón, aparentemente estaban construidas sin cimbra, inclinando para ello los anillos de ladrillos de modo que cada uno se apoyase sobre el anterior, al que se adhería mientras se colocaba la clave. Al parecer, los sasánidas usaban este mismo método para tender bóvedas de grandes luces con las cuadrillas trabajando en desde la parte superior.

3. Sin embargo, el rasgo más revelador es la colocación de los ladrillos o rasillas «de plano». Ninguno de los pueblos antes mencionados parece haberlo hecho así. Suele decirse a menudo que fueron los musulmanes quienes llevaron las bóvedas a España, pero no he encontrado ninguna evidencia de bóvedas árabes con ladrillos sentados de plano. Puede que los paños de los techos nervados de las mezquitas islámicas fueran de este tipo, en cuyo caso la forma global de la bóveda resulta muy distinta de la mayoría de las que aquí nos interesan.[19]

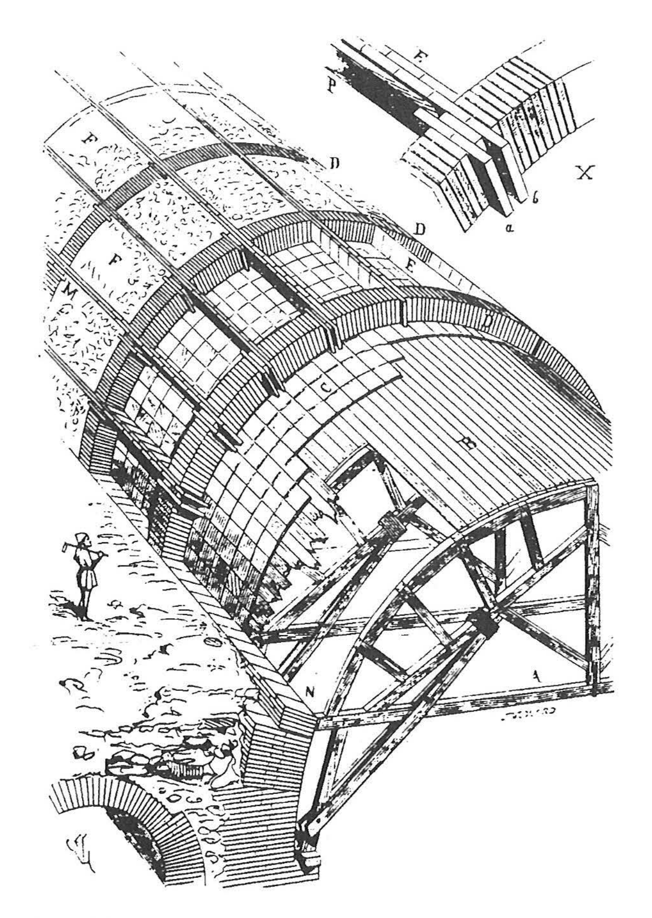


Figura 24
Dibujo de Viollet-le-Duc que muestra el modo en que, supuestamente, los romanos construían sus bóvedas de hormigón sobre un revestimiento tabicado cerámico (indicado en la figura como *C*) de una sola hoja de grosor (*Dictionnaire*, 9, 466)

La mayoría de los que, siguiendo el ejemplo de Choisy, han buscado un origen antiguo para las bóvedas tabicadas se han remontado al encofrado cerámico que los romanos empleaban como cimbra para construir el hormigón de sus bóvedas (Fig. 24). Estas hojas se disponían de varias maneras y los ladrillos se colocaban fundamentalmente —pero no totalmente— de plano, a veces con una segunda hoja cuyas juntas se solapaban con las de la primera. No cabe duda de que los romanos confiaban en el principio cohesivo en estas bóvedas de hormigón, pero su fe radicaba en su cualidad masiva, y al parecer nunca construyeron bóvedas delgadas sólo con ladrillos. Choisy y otros[20] son de la opinión de que cuando dejó de usarse el hormigón, el espesor del relleno se limitó a los riñones de las bóvedas, como en las modernas bóvedas *a foglia* de la Italia central, y así fue como se desarrolló la bóveda tabicada mediterránea que nos interesa. El problema de esta teoría es que no se conocen ejemplos de transición, y el carácter de la bóveda tabicada posterior es tan diferente (salvo cuando está cubierta con un relleno de cascotes u hormigón para sostener un forjado) que resulta difícil ver la conexión histórica, ya sea por un proceso evolutivo o degenerativo.[21]

Otra dificultad para determinar el origen último de la bóveda tabicada es que parece haber entrado a formar parte de las costumbres populares no documentadas de muchos países del litoral mediterráneo, donde probablemente se propagó por medios desconocidos durante la época medieval. Cada nación tiene su propio nombre para esta bóveda: en España, *bóveda tabicada*; en Italia, *volta a foglia* (de hojas); en Francia, *voûte plate* (plana) o *voûte à la Roussillon* (o sea, de la región francesa cercana a Cataluña); en Argelia, *rhorfas* (no se ha aclarado el significado en árabe).[22]

No parece que haya un estudio serio de esta técnica hasta el periodo barroco en España y Francia.[23] La referencia más antigua de la que dispongo aparece en una carta del rey aragonés Martín I el Humano a principios del siglo XV, que trata de la construcción de la Capilla Real de la catedral de Barcelona, y en la que el rey elogia las cualidades de la bóveda a la catalana.[24] En efecto, esas bóvedas eran habituales en la Cataluña medieval, y eran realmente cáscaras muy delgadas.[25] Algunos autores catalanes modernos han supuesto que la técnica llegó desde Italia a Cataluña cuando existían fuertes lazos comerciales a finales de la Edad Media. Parece que muchos autores dan por supuesta la existencia de estas bóvedas en Italia desde la antigüedad, pero yo no he visto citada ninguna que date de antes del siglo XV, es decir, mucho después de los primeros ejemplos catalanes incluidos en la nota 25. Entre los ejemplos famosos están las bóvedas del techo de la capilla Sixtina, del gran salón del palacio Farnesio, y de la logia de Santa María Mayor, todas ellas en Roma, así como la sala de asam-

bleas del Palacio Ducal de Génova.[26] Los italianos también llaman a estas bóvedas *alla volterrana* y *alla siciliana,* lo que supuestamente indica los centros de difusión de épocas recientes.[27] En un artículo de 1936, Joaquín Bassegoda indicaba que los constructores catalanes de iglesias cambiaron las bóvedas de piedra por las tabicadas por influencia de las de la capilla Sixtina y el palacio Farnesio, como parte del entusiasmo general por el Renacimiento que a finales del siglo XVI habían traído a España arquitectos como el catalán Pere Blay. Bassegoda suponía que las bóvedas tabicadas existentes en Cataluña con anterioridad a esta fecha se habían limitado a los edificios civiles, lo que no parece que sea cierto (véase la nota 25). Resulta más probable que Pere Blay simplemente popularizase el estilo romano de la bóveda de cañón con lunetos y sin nervios. Al parecer, en los siglos XVII y XVIII las bóvedas delgadas tabicadas de poca curvatura se convirtieron en un método habitual para cubrir espacios en los edificios catalanes, ya fuesen religiosos o civiles. Incluso puede que algunos de los ejemplos italianos y españoles enumerados por Bannister[28] fuesen de este tipo.

Con respecto a la historia de estas bóvedas antes del siglo XIX, sigue sin resolverse la cuestión de los orígenes de la bóveda del Rosellón, cuya influencia en toda Francia y otras zonas de Europa occidental en el siglo XVIII tan eficazmente ha rastreado Bannister. D'Espie, Patte y Choisy eran de los que la consideraban una forma antigua en esa región, incluso procedente de la época romana. Sin embargo, la Academia se inclinaba a creer (3 de julio de 1747) que el sistema se había traído de España, y que los primeros ejemplos de Castelnaudry eran obra de un monje capuchino español. D'Espie señalaba que unos «españoles» habían construido las bóvedas del monasterio de Perpiñán, del siglo XIV, que él había examinado.[29] Estas bóvedas del Rosellón, que provocaron el interés del siglo XVIII en Francia por las *voûtes plates,* ¿eran verdaderamente autóctonas o bien eran una intrusión española procedente de Cataluña?

Un estudio cronológico de los edificios y los hechos que figuran en la historia francesa revelan lo siguiente: en las primeras décadas del siglo XVIII, numerosos monasterios y conventos del sur de Francia emplearon estas bóvedas (al menos tres de ellas para órdenes que eran especialmente poderosas en España: los capuchinos y los carmelitas descalzos). Luego, desde aproximadamente 1740 en adelante, algunos importantes arquitectos franceses adoptaron este método, y la Academia se pasó cerca de un decenio debatiendo sus méritos.[30] Las publicaciones sobre este tema comenzaron a aparecer en francés hacia 1750, y continuaron durante más de medio siglo. Aunque resulta bastante probable que la Francia meridional haya compartido durante muchos siglos este método de construcción con otras regiones mediterráneas, es curioso que los edificios que provocaron el interés francés por este sistema se hubiesen construido justo cuando los arquitectos, artesanos y artistas catalanes más estaban trabajando en el Rosellón.[31] Durante los últimos años del siglo XVII, los escultores y arquitectos catalanes habían instalado una serie de influyentes talleres en Perpiñán y Prades. En 1700, un Borbón francés accedió al trono de España; a ello siguió la Guerra de Sucesión española, que duró desde entonces hasta 1713–1714. Como estos acontecimientos paralizaron los proyectos de edificación en Cataluña, algunos importantes arquitectos de esta región trasladaron su actividad al Rosellón durante el conflicto. Después de la guerra —que supuso una derrota política para Cataluña—, al parecer los técnicos catalanes siguieron emigrando al Rosellón debido a la mala situación económica de esa región de España. Así pues, puede que la fuerte tradición de las bóvedas tabicadas en Cataluña fuera precisamente lo que contribuyese sustancialmente a la difusión de este método en el sur de Francia a principios del siglo XVIII, y más al norte durante el resto del siglo.[32]

Aunque la primacía y el predominio de las bóvedas españolas pueden ser discutibles en los periodos más lejanos que hemos estado examinando, no cabe duda de su dominio e influencia en los últimos ciento treinta años. Los últimos ejemplos franceses de importancia hasta la década de 1940 parecen ser los incluidos entre las modificaciones del Palacio de los Papas en Aviñón, llevadas a cabo a partir de 1821.[33] Aparte de España, estas bóvedas delgadas volvieron a caer durante el siglo XIX, según parece, en el sustrato de la cultura vernácula.

En España, sin embargo, a la bóveda tabicada por cohesión se le aplicaron considerables mejoras durante la última parte del siglo XIX, especialmente en Cataluña. Como era principalmente una cuestión de perfeccionar para su uso industrial moderno un método habitual de construcción ya en marcha, los avances tecnológicos aplicados no parece que se hayan documentado con nada parecido a la precisión con la que podemos seguir las diversas contribuciones contemporáneas a innovaciones como la construcción de rascacielos en Chicago y otras ciudades norteamericanas. Las dos principales zonas en las que se usó este método en la Península Ibérica fueron —como ya hemos indicado— Extremadura y Cataluña. Algunos de los primeros documentos hablan de Extremadura, donde las obras fueron al parecer bastante modestas y quedaron eclipsadas por el desarrollo producido en Cataluña. Ésta tenía una larga tradición en el uso de estas bóvedas tanto en contextos rurales populares,[34] como en importantes edificios públicos,[35] y de pronto experimentó un notable incremento y una sofisticación en su empleo a partir de mediados del siglo. Esto se ha atribuido a varios factores: la dinámica revitaliza-

ción de lo medieval en la arquitectura, el deseo de contar con una construcción resistente al fuego en fábricas y edificios de viviendas, el desarrollo de mejores morteros, y la curiosidad científica de algunos profesores de la recién creada Escuela de Arquitectura de Barcelona acerca del funcionamiento de estas bóvedas. Entre los arquitectos e ingenieros del momento hay una larga lista de innovadores, pero todos ellos estaban de acuerdo en que el papel protagonista lo desempeñó el arquitecto y constructor Rafael Guastavino, que dedicó su vida al estudio y la difusión de este sistema.[36]

Rafael Guastavino pertenecía a una familia de origen genovés que había llegado a Barcelona en torno a 1800; su padre, también llamado Rafael, se había trasladado a Valencia, donde nuestro Rafael nació y creció. Músico desde siempre, el joven Guastavino comenzó a interesarse por la arquitectura y se fue a estudiar a Barcelona. Cursó varios años y pronto se estableció por su cuenta, construyendo su primera casa en 1866. Dos años después levantó una gran residencia en esquina (aún en pie) en el elegante Paseo de Gracia para el doctor Blajot, y comenzó la construcción de una fábrica textil para los hermanos Batlló que iba a cimentar su reputación. Esta fábrica todavía funciona como el núcleo de la Universidad Industrial de Barcelona (Figs. 25 a y b). Durante los doce años siguientes, Guastavino estuvo ocupado en una serie de fábricas, almacenes, teatros y edificios de viviendas en la provincia de Barcelona.[37] Esta clase de edificios exigían una construcción resistente al fuego, y es esto lo que más le preocupó cuando más tarde describió las innovaciones aplicadas.[38] El mayor estímulo a la experimentación venía, por supuesto, de los edificios industriales, cuyos propietarios no se podían permitir ni grandes pérdidas debidas al fuego, ni cerrar para renovar las instalaciones dañadas. La industria estaba floreciendo en Cataluña, la principal región manufacturera de España, pero, según Guastavino, hasta 1865 todas las naves se habían construido con forjados de madera e incluso con columnas y vigas de madera, que con el uso se habían empapado de aceite. En muchos aspectos, los industriales catalanes se inspiraban en modelos británicos, pero no estaban satisfechos con sus robustos arcos de ladrillo de escasa luz. Guastavino —probablemente no tan solo como él decía— elaboró dos sistemas: el más habitual usaba bóvedas tabicadas de cañón, con tirantes, y apoyadas en vigas de madera, casi invulnerables al fuego (Fig. 25a); el otro empleaba bóvedas vaídas sobre arcos de ladrillo con tirantes (Fig. 25b). El factor crítico en estas obras era el mortero, y las innovaciones de Guastavino tuvieron que ver primordialmente con el perfeccionamiento del uso del cemento Portland como sustituto de los antiguos conglomerantes de yeso y cal. Había empezado sus experimentos usando hormigón vertido, pero los dejó, y al final de su vida insistía en que el hormigón era inferior a los ladrillos, pues éstos hacían innecesario el uso de cimbras y protegían el mortero de la acción del fuego, como ya se ha señalado. Afirmaba que era precisa una revitalización del arte de la albañilería para satisfacer las exigencias constructivas del momento, y que la fábrica de ladrillo por cohesión, o bien un hormigón perfeccionado, serían los materiales del futuro.[39] La mayor parte de sus escritos trataban acerca de este tema, en lugar de ocuparse de la obvia audacia estructural de sus bóvedas.

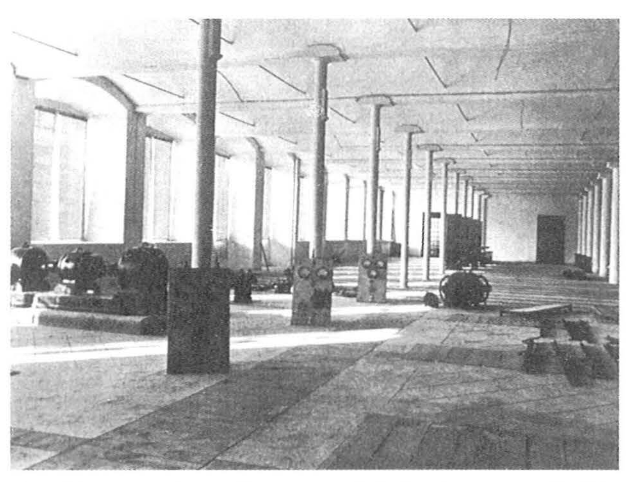


Fig. 25 a. Barcelona, fábrica textil de los hermanos Batlló, 1868-1869. Arquitecto: Rafael Guastavino. Éste es un interior típico del edificio de cinco plantas: bóvedas tabicadas, largas, rebajadas y con tirantes, apoyan sobre vigas de madera de Oregón que descansan a su vez sobre columnas metálicas (Archivo MAS, Barcelona);

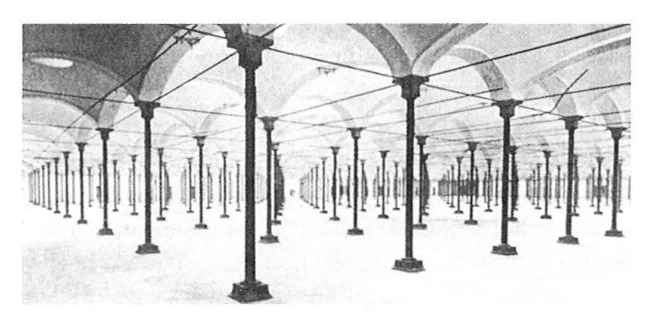


Fig. 25 b. Sala de telares contigua a la fábrica Batlló, de Guastavino, 1868-1869. Esta vasta construcción de una sola planta se ilumina mediante óculos situados en las bóvedas semiesféricas, que se apoyan en nervios estratificados de ladrillo, que a su vez descansan sobre columnas metálicas arriostradas con tirantes. El parecido con la arquitectura islámica española es evidente (foto Aleu, Barcelona)

Rafael Guastavino padre abandonó Barcelona y se marchó a los Estados Unidos en 1881 con su hijo también llamado Rafael,[40] dejando tras él un grupo de edificios que al parecer resultaron ejemplares para los profesionales que luego usaron las bóvedas a la catalana

(enumerados en la nota 35). Sabemos que sus edificios se estudiaban en algunos cursos de la Escuela de Arquitectura, y es probable que tanto Gaudí como Doménech i Montaner —que estaban en la Escuela a mediados de la década de 1870— recibieran de esta forma la inspiración para hacer las extraordinarias bóvedas tabicadas que aportaron a la arquitectura española.[41] Las contribuciones técnicas concretas que hicieron las generaciones tercera y cuarta, de las enumeradas en la nota 35, no se han estudiado en detalle. Guastavino se quejaba de que en la época en la que se embarcó en la investigación de la construcción cohesiva no había libros de texto que tuvieran valor alguno para él, puesto que la mayoría de los autores se ocupaban exclusivamente de la teoría clásica de los arcos de dovelas.[42] Como comentaba irónicamente, «hasta los años 1866 y 1868, los profesores de la Academia de Barcelona —una de las más ilustres de Europa y una ciudad en la que los ladrillos se usan más que en ninguna otra parte del mundo— no empezaron a prestar atención a este estilo, y cuando finalmente lo hicieron, fue solamente para comentar de pasada su resistencia y su posible utilidad; pero no hicieron de él materia de estudio, pese al hecho de que caminaban constantemente sobre forjados construidos con este sistema».[43] Sí existían algunos tratados (véase el apéndice I), pero no se ocupaban de las condiciones catalanas ni de los morteros modernos. Así, pues, el libro de Guastavino, *Cohesive construction,* de 1892–1893, supuso un gran avance que sería continuado, diez años después, por los primeros estudios modernos realizados por sus seguidores.[44] El funcionamiento de estas bóvedas parece seguir causando cierta perplejidad y no hay acuerdo al respecto. Guastavino, Berg, Gaudí y otros las abordaron conforme a la teoría clásica de bóvedas, mediante la estática gráfica. Recurrían a los datos proporcionados por ensayos empíricos; los modelos funiculares fueron empleados por Gaudí y algunos otros. Se probaron las teorías de la elasticidad (Bayó) y de las membranas (Bassegoda y Musté), pero todas demostraron ser meras aproximaciones. Como apéndice de este artículo se incluye una bibliografía bastante completa de los estudios sobre las bóvedas tabicadas españolas desde los años 1660 en adelante.

En 1876, Guastavino envió algunos planos de sus edificios para que se exhibieran en el Centenario de Filadelfia, una exposición que despertó mucho interés en España. El título de su aportación, «Mejorar la salubridad de las ciudades industriales», indica que le preocupaba el urbanismo higiénico, pero al parecer destacaba las ventajas de los muros y techos «tubulares» (o sea, dobles) que permitía su sistema constructivo. Se sintió eufórico al recibir una medalla por sus méritos (a España no le fue tan bien como a otros países en los premios) y concentró sus miras en irse a los Estados Unidos, donde suponía que los materiales de construcción serían de una calidad más adecuada a su trabajo.[45] La ocasión se presentó cinco años después: sus relaciones familiares no habían sido muy buenas, y su mujer, separada de él, decidió emigrar a Argentina con todos sus hijos salvo Rafael.[46] Guastavino llegó a Nueva York a principios de 1881 con su hijo Rafael, su ama de llaves y las dos hijas de ésta, 40.000 dólares y poco o ningún conocimiento del inglés.

Al principio no pudo instalarse ni como arquitecto ni como constructor, a pesar de las cartas de presentación que llevaba. En cambio, alcanzó cierto prestigio gracias a una serie de artículos ilustrados sobre España y los estilos exóticos, publicados en la revista *Decorator and Furnisher*.[47] Por esa misma revista nos enteramos, en junio de 1883, de que había ganado el concurso para hacer el proyecto del Progress Club (en la calle 59 esquina a la Cuarta avenida) en estilo morisco. Lo llevó a cabo en colaboración con uno de los miembros del comité de selección: Henry Fernbach. Ese mismo año, 1883, construyó dos casas de vecindad a prueba de incendios en unos solares que había adquirido en la avenida Columbus y en las calles 99 y 100 (Fig. 26). Durante esos años, también proyectó algunas casas particulares y una sinagoga en la avenida Madison.[48] Éstas fueron las últimas obras que hizo como arquitecto. Su hijo estudió algo de arquitectura y ganó al menos un concurso, pero nunca ejerció la profesión. Esto resulta irónico, pues gracias al empleo de sus diversas clases de bóvedas tabicadas, los dos Guastavino —como contratistas y constructores— probablemente ejercieron en los espacios

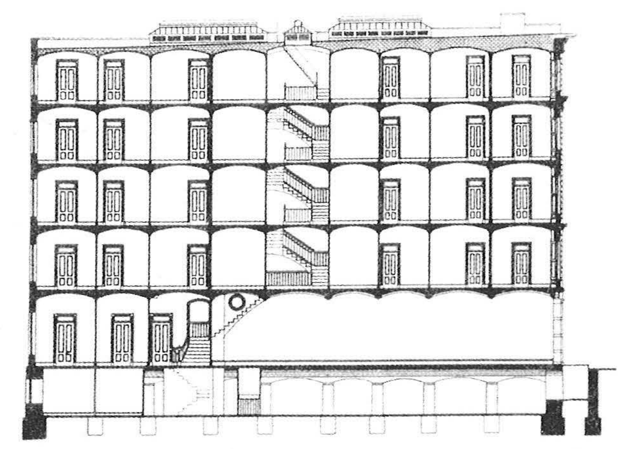


Figura 26
Sección longitudinal de uno de los edificios de viviendas de Manhattan que Rafael Guastavino proyectó como arquitecto en 1883 con arcos de piezas cerámicas desde el sótano hasta la cubierta. Estos edificios fueron demolidos en operaciones de renovación urbana (*Brickbuilder,* 10, 1901)

«imperiales» de la arquitectura de principios del siglo XX, y en las naves neogóticas de las décadas siguientes, tanta influencia estética como los verdaderos arquitectos de los edificios.

En 1886, Guastavino no logró ganar el concurso para el Arion Club de Nueva York, pero sí consiguió la contrata para instalar las bóvedas de los forjados. En este caso se vio forzado a hacer estas bóvedas más gruesas de lo necesario; pero en adelante los arquitectos con los que trabajó, más que aconsejarle, le consultaban. No había precedentes conocidos de las bóvedas de Guastavino en aquel lado del Atlántico;[49] y las primeras publicaciones que conocemos de ellas las trataban como una curiosidad.[50] Así pues, la tarea de Guastavino consistió en infundir confianza en su sistema constructivo, lo que hizo de varias maneras.

Dado que él mismo se dedicaba a hacer pruebas empíricas, organizó una serie de experimentos en la empresa Fairbanks Scale Company entre 1887 y 1889 para establecer las tensiones de trabajo a compresión, tracción y cortante.[51] También encargó una «Tabla de esfuerzos teóricos» (para arcos de una relación flecha/luz del 10% bajo carga uniforme) preparada por el profesor Lanza, del MIT.[52] En 1889, la Compañía de Guastavino pudo ofrecer con confianza a la profesión unas especificaciones claras para sus arcos.[53] Entre las pruebas posteriores se incluyó una demostración de la invulnerabilidad de las bóvedas al fuego, preparada en 1897 para el Departamento de Edificación de Nueva York (véase la nota 9). También se han descrito ya las pruebas de carga de 1901 (Fig. 12). Más tarde se hicieron numerosas pruebas, para el gobierno y para particulares, sobre las propiedades de las piezas cerámicas acústicas desarrolladas por la Compañía.

Durante esos mismos años Guastavino —con la ayuda de uno de sus primeros clientes, Bernard S. Levy— solicitó patentes para proteger sus métodos. Las patentes de esos tres elementos básicos ya antiguos en España (forjado abovedados, tabiques y escaleras a la catalana) se solicitaron en 1885 y se consiguieron, al parecer, debido a la novedad de los morteros. Durante los seis años siguientes, Guastavino solicitó diez patentes más (cinco de ellas en 1892), relativas principalmente a mejoras. Finalmente, la Compañía obtuvo veinticinco patentes, la mayoría de las últimas concedidas en el siglo XX a piezas cerámicas acústicas y a procesos constructivos.[54] Durante su periodo de actividad, parece que los Guastavino conservaron un monopolio absoluto de la bóveda tabicada en Norteamérica. No está claro si esto se debía a la protección que ofrecían sus patentes o a su energía e ingenio extraordinarios, capaces de acabar con cualquier competencia. En 1906, Wight mencionó un «techo abovedado de iglesia» hecho por un competidor (desconocido para el autor),[55] y durante la I Guerra Mundial, la Compañía de Guastavino logró arruinar los esfuerzos de un antiguo ayudante para establecerse por su cuenta.[56] Según parece, Guastavino padre era consciente de que había patentado lo que en cierto sentido eran procesos constructivos comunes, así que escribió una larga nota justificativa en su primer libro, en la que su argumento primordial era que, a menos que estos procesos fuesen ejecutados por un especialista cualificado (el titular de la patente), caerían en el descrédito, en detrimento de toda la profesión de los constructores.[57] Entre las patentes quizá más interesantes se encuentran una que adaptaba el método romano del encofrado de una hoja para las bóvedas de hormigón en masa,[58] otra con resaltos en la superficie de las rasillas, de modo que no pudieran desprenderse de la capa inferior, un método de extrusión y cocido de una especie de caja o tubo de terracota que, cuando se golpea en una esquina, se rompe formando seis rasillas con resaltos, un sistema de refuerzos metálicos que se aproxima al hormigón armado y, finalmente, (una patente póstuma de Guastavino padre) una enorme construcción de varios pisos y doble cúpula que serviría como Hall of Records de todo el siglo XIX.[59]

El cuidado puesto por Guastavino en consolidar su reputación se vio ampliamente recompensado. Cuando ya llevaba un decenio en los Estados Unidos, los anuncios de su Compañía y sus propias publicaciones incluían una variada gama de edificios construidos, y entre ellos había algunos nombres bastante imponentes. Aunque había edificios en lugares tan al oeste como Denver, los encargos estaban principalmente en el noreste del país: desde Nueva Jersey y el estado de Nueva York hasta Nueva Inglaterra o New Hampshire. Las zonas de Boston y Nueva York eran siempre los principales centros de actividad, con unos cuantos edificios en Providence y Filadelfia. Los tipos edificatorios de su producción incluían clubes y auditorios, edificios de oficinas y viviendas, centrales eléctricas, factorías y fábricas de cerveza, escuelas y bibliotecas, iglesias, bancos, edificios públicos y residencias particulares. Los arquitectos eran numerosos y eminentes; Guastavino declaró en 1889 estar particularmente en deuda con algunos de ellos: T.M. Clark, F.H. Kimball, A.F. D'Oench, A.H. Pickering, R.H. Robertson, Buchman & Deisler, De Lemos & Cordes, y McKim, Mead & White.

La colaboración con este último estudio en la construcción de la Biblioteca Pública de Boston le proporcionó una reputación a escala nacional. Salvo las estanterías metálicas, toda la primera planta de la biblioteca se apoya en bóvedas vaídas sobre arcos de rasillas, sin empleo de hierro (Fig. 17). Los techos de la planta baja en su mayoría son abovedados, algunos están recubiertos con mosaicos y en otros se han dejado vistas unas nuevas rasillas perfeccionadas para esta misión por

Guastavino padre y McKim. La bóveda elíptica de la entrada de coches (ahora sala de lectura) tenía 12,80 metros de longitud y sólo 7,6 centímetros de espesor. Este trabajo no sólo le proporcionó publicidad, sino que Guastavino padre fue invitado a pronunciar una conferencia en la Sociedad de las Artes (M.I.T.) en octubre de 1889 y en el Thursday Club en enero de 1890. Ambas conferencias aparecieron en el *American Architect and Building News,*[60] y constituyeron buena parte de su libro *Cohesive construction,* publicado en 1892 y 1893.

Fue también en julio de 1889 cuando Guastavino padre fundó su empresa con el nombre de «Guastavino Fireproof Construction Company». De sus asuntos financieros se encargó un joven de Nueva Inglaterra llamado William E. Blodgett. Los arreglos financieros de Guastavino padre habían sido, como poco, inestables. El capital original con el que había llegado lo había perdido al comprar solares sin una clara titularidad. Sufrió otros varios reveses debido a su despreocupación por los negocios y se había declarado en suspensión de pagos antes de fundar su empresa en 1889. Luego se expandiría: en 1891 tenía oficinas en Nueva York, Boston, Providence, Chicago y Milwaukee. Con la crisis de 1893, la Compañía quedaría completamente paralizada. Se reorganizó en 1897 y, con Blodgett como tesorero, consiguieron estabilidad financiera y acumularon una reserva que les permitió superar la Gran Depresión y los años de escasez de la II Guerra Mundial.[61] Blodgett y su hijo Malcolm administraron los asuntos económicos de la Compañía de los Guastavino, padre e hijo, de un modo sumamente provechoso para una empresa familiar de dos generaciones. A medida que aumentaba el número de contratas, se hacía cada vez más difícil conseguir suficientes rasillas estructurales en las fechas pactadas, y fue William quien animó a los Guastavino a montar una fábrica suburbana entre las ondulantes praderas de su ciudad natal de Woburn, Massachusetts. En ella se desarrolló toda una variedad de ladrillos cocidos (estructurales, decorativos y acústicos) y bloques prensados (acústicos), que hacían de las bóvedas de la Compañía algo muy distinto de todo lo conocido en Europa.

Entretanto, Guastavino hijo fue asumiendo puestos de responsabilidad en la Compañía. Desde principios de la década de 1890 había supervisado gran parte de las construcciones más importantes. Su mayor proeza fue sin duda la cúpula del crucero de San Juan el Divino, descrita anteriormente. Se interesó especialmente en el desarrollo de las piezas cerámicas ornamentales y coloreadas, destinadas a los intradoses vistos de las bóvedas, de modo que no tuvieran que enlucirse. Con este fin hizo un detenido estudio de los edificios barrocos españoles y mexicanos. Durante dos años (1911–1912), la revista *Brickbuilder* presentó una serie de frontispicios basados en cúpulas mexicanas que, según parece, él

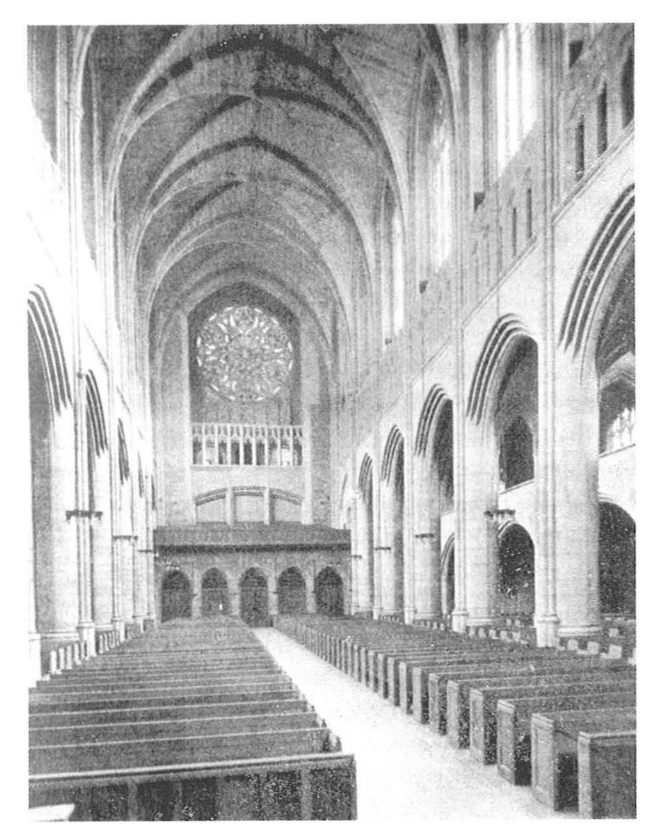


Figura 27
Iglesia de Santo Tomás, Nueva York, 1914. Arquitectos: Cram, Goodhue & Ferguson. Las bóvedas de Guastavino llevan ladrillos acústicos Rumford en el intradós que quedan vistos entre los nervios de piedra. Las piezas cerámicas de tamaños diversos combinan bien con la sillería de piedra de los muros (Archivo Guastavino, Universidad de Columbia)

mismo había fotografiado. Pero su gran avance llegó cuando colaboró en la segunda década del siglo XX con Wallace C. Sabine, experto en acústica de Harvard, en la creación de una pieza cerámica acústicamente eficaz para superficies murales y abovedadas. Primero patentaron el ladrillo Rumford (1914; 1.119.543), una pieza cocida que absorbía sonidos gracias a su estructura esponjosa con cámaras de aire, lograda a partir de una arcilla mezclada con pequeñas partículas de turba que se desintegraban con el calor. La iglesia de Santo Tomás, en Nueva York, fue el primer gran proyecto en que emplearon este ladrillo Rumford (Fig. 27).[62] Luego idearon un ladrillo moldeado con diminutas partículas de piedra pómez que no se «apelmazaban», sino que dejaban pequeños espacios de aire; la fábrica hecha con estas piezas demostró tener un 60% de eficacia en la absorción de sonidos (en tres octavas por encima del Do medio). Denominado «Akoustolith», fue patentado en 1916 (1.197.956) y se empleó en buena parte de las obras posteriores, como la nave de San Juan el Divino, la capilla gótica en el Cloister Museum, etcétera. A media-

dos de la década de 1920 se desarrolló y patentó (1.563.846) un enlucido Akoustolith.

A principios del siglo XX, «Guastavino» llegó a ser una palabra muy conocida entre los arquitectos norteamericanos, y el sistema se incorporó a la mayoría de los manuales de construcción.[63] Los productos estructurales de arcilla eran populares; la revista *Brickbuilder* acababa de aparecer y estaba en pleno desarrollo. En *Fireproof Magazine* y otras publicaciones se aprecia —como consecuencia de los grandes incendios de Baltimore, San Francisco, etcétera— una desconfianza generalizada en el hormigón como material resistente al fuego, que era precisamente en lo que Guastavino padre había estado insistiendo a partir de su propia experiencia. Es más, esos espacios parecidos a los del Viejo Mundo que podían lograrse con las bóvedas de Guastavino resultaban muy atractivos para el gusto de los arquitectos y los clientes de la Costa Este norteamericana. Por ejemplo, Guastavino padre acabó trabajando para los Vanderbilt en el edificio Newport Breakers para Cornelius, en una mansión de la Quinta avenida para W. K.; y en la finca de Asheville (Carolina del Norte), para George W. Él mismo estableció su sede campestre cerca de Black Mountain, Carolina del Norte, y fue allí donde, con su hijo, hizo los primeros experimentos con un pequeño horno para su fábrica de cerámica.

Por lo que respecta a las publicaciones sobre ellos, a los Guastavino se les consideraba constructores más que arquitectos, y las noticias solían ser de índole técnica. Por eso resulta de lo más sorprendente encontrar una biografía de Guastavino padre en cuatro entregas, escrita por Peter B. Wight para *Brickbuilder* en 1901.[64] Ese mismo año, Sylvester Baxter habló muy bien de él en la introducción a su monumental publicación sobre la arquitectura mexicana.[65] De tanto en tanto, su obra se examinaba detalladamente en relación con algún edificio en construcción. No obstante, el presente artículo es probablemente la información más completa sobre ellos en inglés después de la de Wight, hoy ya anticuada.

Por el contrario, al nombre de Guastavino nunca le ha faltado reconocimiento en España. Guastavino padre recibió el encargo de proyectar el pabellón español en la Exposición Colombina Mundial, para lo que copió parte de la Lonja de su Valencia natal.[66] También habló ante el IV Congreso Internacional de Arquitectos, en esa misma Exposición, y recibió la visita de un eminente arquitecto español, Mariano Belmás, que se llevó de vuelta a España una impresión de primera mano sobre la obra norteamericana de Guastavino padre.[67] Valencia conservó su recuerdo, y dos de sus edificios fueron incluidos en un estudio de la arquitectura moderna en Barcelona.[68] En 1904 envió una versión francesa de su último libro al VI Congreso Internacional de Arquitectos celebrado en Madrid.[69] Puig i Cadafalch también habló de las bóvedas a la catalana en ese Congreso.[70] Prácticamente todos los estudios técnicos sobre las bóvedas tabicadas que empezaron a aparecer en España en torno a 1900 ponen gran énfasis en la contribución de Guastavino, citando con frecuencia su tratado sobre la construcción cohesiva y mencionando casi sin excepción sus ensayos y sus especificaciones. La Compañía había preparado para el Congreso de 1904 un extenso álbum de fotografías de sus edificios, que es nuestro mejor resumen gráfico de sus primeras obras en Norteamérica. Este álbum, enviado a Belmás —que representó a Guastavino en el Congreso— llegó por una feliz casualidad a manos de Luis Moya Blanco, tal vez el más importante constructor de bóvedas fuera de Cataluña (Fig. 28). Moya usó profusamente las ilustraciones en su propia publicación sobre bóvedas tabicadas.[71]

Las propias publicaciones de la Compañía también merecen ser citadas. Desde el mismo comienzo de su existencia se insertaron regularmente en las revistas de arquitectura anuncios a toda página que describían el sistema constructivo, enumeraban los principales edifi-

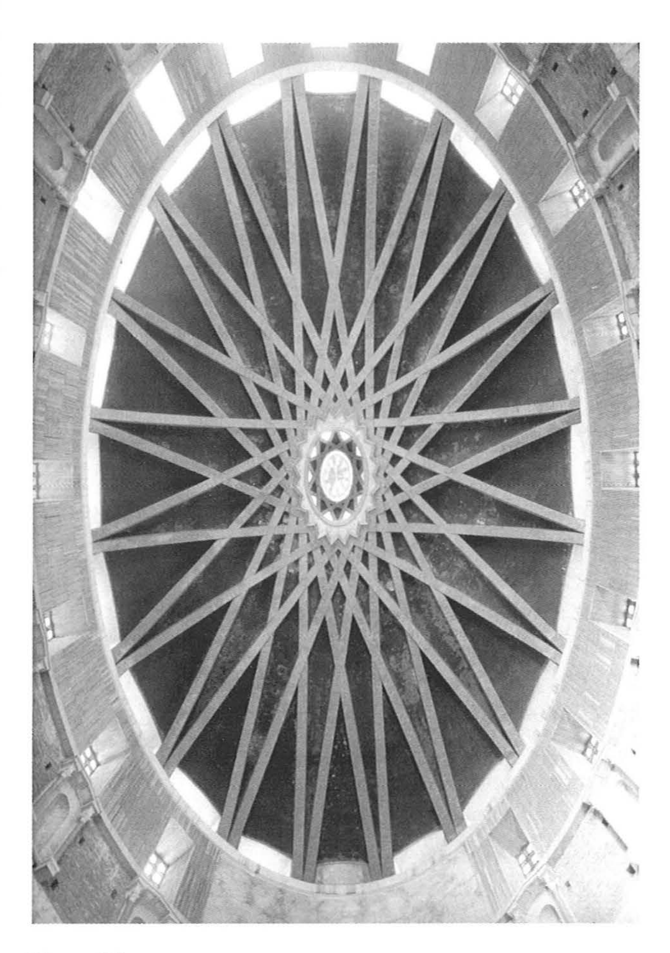


Figura 28
Linterna de la capilla de la Universidad Laboral de Gijón, de Luis Moya Blanco. El uso de los nervios entrelazados de ladrillo recuerda la construcción islámica. Esos nervios sostienen bóvedas tabicadas (foto del arquitecto)

cios que contenían sus bóvedas e ilustraban alguna obra, ya acabada o en construcción. Más tarde se imprimieron descripciones ilustradas de varias páginas sobre sus obras en el *Sweet's Catalogue.* Luego se usaron las separatas con ilustraciones para las promociones, y los cuadernillos del *Sweet's* se distribuyeron en forma de elegantes folletos. Todo este material proporciona un excelente inventario de las construcciones que la Compañía consideraba más importantes.[72] Las figuras 18 y 19 son ejemplos de esos anuncios.

Desde el punto de vista teórico, las publicaciones más interesantes para nosotros son las de Guastavino padre. Su principal aportación la hizo en *Cohesive construction,* de 1892-1893.[73] El libro comienza con una introducción en la que el autor describe cómo llegó a interesarse por la fábrica cerámica cohesiva y por qué abandonó sus trabajos con el hormigón simple. El siguiente capítulo traza la historia de la construcción cohesiva desde los tiempos de Egipto.[74] El tercer capítulo («Teoría y coeficientes de aplicación») constituye su método de análisis estructural y ofrece datos de cómo calcular las bóvedas. El capítulo cuarto y último («Aplicaciones modernas e importancia estética de la construcción cohesiva») explica el uso y las ventajas de sus bóvedas para diversos tipos de edificios, todo ello basado en su propia experiencia en España y en los Estados Unidos. Su conferencia en el MIT versó, según parece, sobre los capítulos II y III, aunque sólo el II estaba impreso en ese momento.[75] La conferencia en el Thursday Club incluyó la introducción y el capítulo IV.[76] El resto de sus publicaciones después de este libro son de menor interés. Su escrito para la Exposición era principalmente un argumento en favor de la construcción cohesiva frente a la estructura metálica, y el mismo espíritu caracteriza la primera parte de *Function of Masonry,* publicado en 1896.[77] La segunda parte de este último, publicada ocho años después, se ocupa de modo más específico de algunos consejos y precauciones relativas a cómo debería manejarse la fábrica, y todavía sería útil para arquitectos y constructores. Cita largos pasajes de la conferencia de 1893 sobre la ventaja de la fábrica sobre el acero (páginas 63-72). Como ya hemos mencionado, esta segunda parte se presentó luego, con cierta reorganización interna, al Congreso de Madrid de 1904.

Si buscamos los fundamentos intelectuales o filosóficos de sus escritos, Guastavino surge como una figura muy característica del siglo XIX. Él mismo resaltaba la influencia recibida de sus maestros Elías Rogent (el principal defensor de la revitalización gótica en Cataluña) y Juan Torras Guardiola (gran ingeniero catalán que tuvo la satisfacción de competir con éxito frente a Eiffel para la construcción de un puente). Guastavino también mencionaba en sus escritos a Ildefonso Cerdá, el ingeniero y urbanista español que planificó el ensanche de Barcelona a mediados del siglo XIX;[78] a Pablo Milá y Fontanals (catedrático de Filosofía y Estética en Barcelona); y al Marqués de Cubas (el equivalente a Rogent en Madrid). Por supuesto, Guastavino tenía conocimiento de los escritos de Viollet-le-Duc, los cuales no aceptaba completamente, y de Auguste Choisy, por el que mostraba gran entusiasmo.

Sin embargo, fue la naturaleza la principal maestra de este hombre que había tenido que desarrollar sus técnicas a partir de estudios empíricos, sin la ayuda de ningún libro de texto. Guastavino hablaba constantemente de que su estructura «recuerda la obra de la naturaleza al hacer los conglomerados»;[79] o bien que «nuestra arquitectura es nueva; es filosófica; está más en armonía con las enseñanzas de la naturaleza misma y con nuestras propias experiencias (...) nuestra arquitectura es una sugerencia directa de la naturaleza»;[80] La exposición más elocuente de esta concepción aparece en la introducción a *Cohesive construction,* 13, cuando describe sus sensaciones al entrar por primera vez en la gran gruta de la finca de Muntadas, en Aragón:

> Mientras contemplaba esa cascada de agua en aquella inmensa estancia, me invadió el pensamiento de que todo este espacio colosal estaba delimitado por un único elemento constituido por una sólida masa de muros, cimientos y cubierta, y de que se había construido sin cimbras o andamios, y sobre todo, sin necesidad de elementos pesados de piedra, pesadas vigas o pesadas cimbras; un todo compuesto de partículas colocadas unas sobre las otras, tal como la naturaleza las había dispuesto. Desde ese momento quedé convencido de que había mucho que aprender del gran libro llamado «Naturaleza,» nunca suficientemente estudiado, y de que nuestro habitual sistema constructivo era muy pobre, a pesar de que poseíamos el material necesario para realizar esta clase de edificios imitando a la naturaleza. Entonces comprendí por qué mi distinguido profesor de construcción, D. Juan Torras, dijo un día: «El arquitecto del futuro construirá imitando a la naturaleza, ya que es el método más racional, duradero y económico.» Esta gruta es realmente un magnífico ejemplo de la construcción cohesiva. ¿Por qué no habíamos construido aplicando este sistema?

Y aconsejaba lo siguiente con respecto a los estudiantes de arquitectura:

> Dejémosles ir hacia la naturaleza en lugar de hacerlo hacia la ingeniería rudimentaria y las ideas contradictorias de las diversas épocas.[81]

Sólo nos resta indicar con algunas estadísticas aproximadas la importancia de la obra de los Guastavino en la arquitectura norteamericana desde mediados de la década de 1880 hasta la II Guerra Mundial. Cuando finalmente la Compañía decidió abandonar su actividad, a

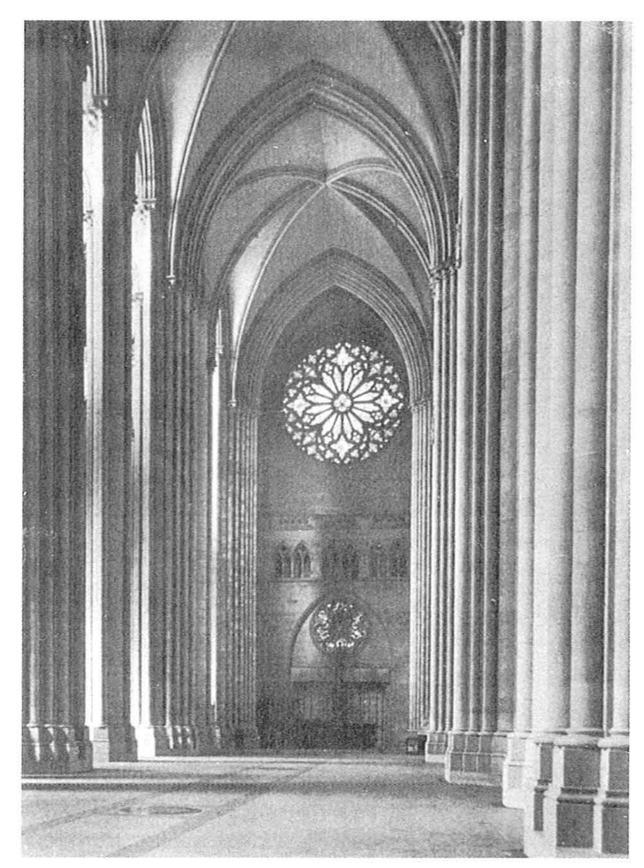


Figura 29
Nave de la catedral de San Juan el Divino, tal como fue terminada por Cram y Ferguson durante las décadas de 1920 y 1930: nervaduras de piedra con bóvedas tabicadas de Guastavino, y cara interior de Akoustolith (Archivo Guastavino, Universidad de Columbia)

principios de los años 60, había llegado a construir bóvedas tabicadas en más de 1.000 edificios, muchos de ellos de carácter historicista. El punto culminante de la actividad se alcanzó entre la instalación de la fábrica de Woburn, justo después de 1900, y la crisis económica de los años treinta; por ejemplo, la cifra de edificios nuevos en los que participaron cada año entre 1905 y 1930 varía entre treinta y sesenta, y entre esos edificios había grandes iglesias, importantes terminales o extensos campus como Carnegie Tech y West Point (Figs. 29 y 30). Los Guastavino participaron en la construcción de unas 200 iglesias, catedrales y capillas universitarias, muchas de ellas en estilo gótico. Con ello hicieron posible, en gran medida, la difusión del neogótico en el siglo XX, algo que hasta la fecha parece no haberse estudiado. En 1908, durante este auge de la edificación, Guastavino padre murió en su finca de Carolina del Norte tras una enfermedad súbita y breve, pero este hecho apenas se notó en la marcha de la empresa, pues su hijo tomó las riendas de un modo tan natural que mucha gente no se dio cuenta de que había en realidad dos Guastavino.

Su obra está repartida por 41 de los estados norteamericanos (incluyendo Hawai y el Distrito de Columbia), cinco provincias canadienses, y otros nueve países (en lugares tan lejanos como la capital india, Nueva Delhi). No obstante, la máxima concentración se da en Manhattan (más de 240 edificios); y los principales centros de actividad siempre estuvieron en el este del país: área metropolitana de Nueva York, con unas 360 construcciones; área metropolitana de Boston, unas 100; Pittsburgh, unos 30 edificios, y Filadelfia con unos 20. Hay una docena o más en Chicago, Baltimore, Cleveland, Newark, New Haven y Hartford. Algunas de las grandes cúpulas que levantaron pueden verse en la figura 31.[82]

Estas abultadas estadísticas no son tan impresionantes como los nombres de los edificios concretos que in-

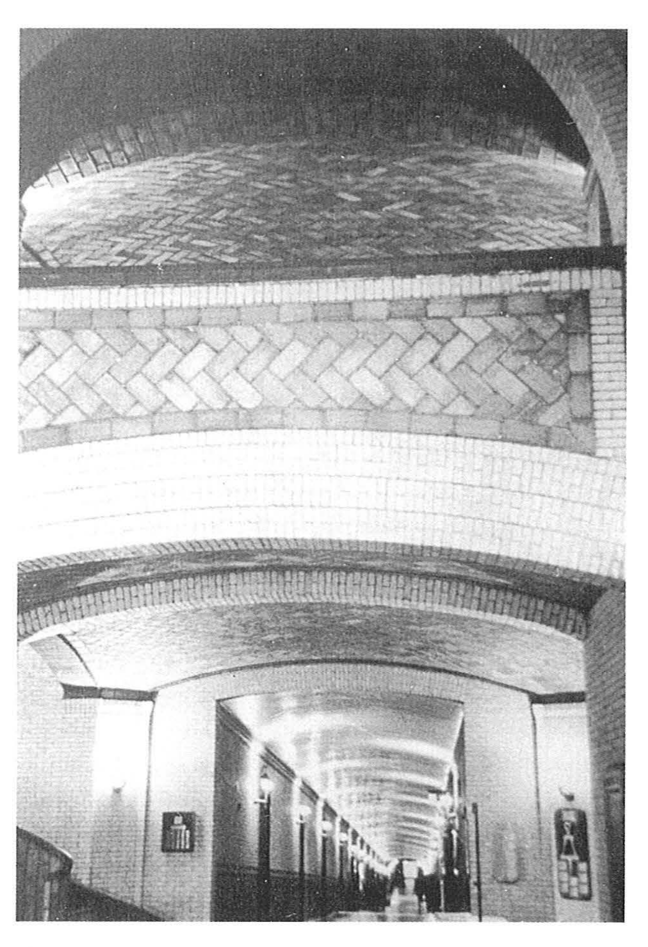


Figura 30
Entrada al vestíbulo del pabellón Baker del Instituto Carnegie de Tecnología, Pittsburgh. Arquitecto: Henry Hornbostel, 1914–1919. En este edificio, los materiales industriales se han empleado «al natural»: barandillas de tubo, artículos de fábrica, etcétera. Especialmente llamativo es el despliegue que hizo el arquitecto de esos ladrillos estructurales de Guastavino de color rojo carne (habitualmente ocultos) para formar los paneles decorativos que se ven en la imagen. En la parte superior se aprecia parte de las extraordinarias escaleras helicoidales y sus galerías (foto del autor)

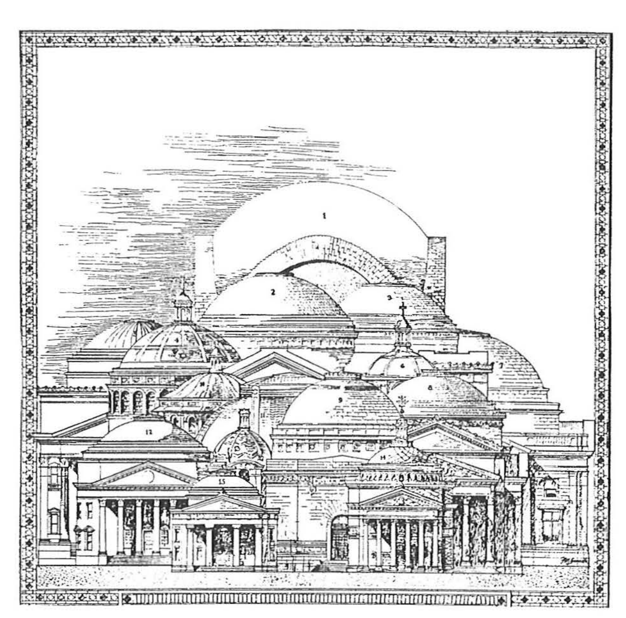


Figura 31
Algunas cúpulas construidas por la Compañía Guastavino entre 1897 y 1911. Este dibujo llegó a ser la marca de la empresa. La lista de los edificios está en la nota 82 (Archivo Guastavino, Universidad de Columbia)

cluyen. En 1900 se hizo una encuesta entre los arquitectos norteamericanos acerca de los diez edificios más bellos de los Estados Unidos —*Brochure Series,* 4, (enero de 1900)—. Entre los que no eran anteriores a la llegada de Guastavino padre al país, todos menos dos incorporaban construcciones de Guastavino, y además la Compañía también había participado en los añadidos a dos de los de fecha anterior. El prestigio de los edificios en los que intervinieron los Guastavino se ha mantenido a lo largo de los años. Por ejemplo, cuando en septiembre de 1967 la delegación de Nueva York del Instituto Norteamericano de Arquitectos (AIA), para celebrar su centenario con una exposición, hizo una selección de los 38 edificios más destacados de Manhattan en los cien años anteriores, de los 22 que se construyeron durante los años de actividad de Guastavino (es decir, antes de la II Guerra Mundial), más de la mitad están en el inventario de la Compañía. Y, como antes, los Guastavino habían construido bóvedas tabicadas en una modificación hecha a uno de los cuatro edificios exhibidos en la exposición que eran anteriores a su empresa. «Miren a su alrededor» —se decía en la muestra del AIA— «y encontrarán parte de la arquitectura más emocionante que ha producido el último siglo».

No se podía imaginar que esta locomotora de la industria norteamericana de la construcción pudiera detenerse. Pero el aumento del coste de la mano de obra, la Gran Depresión y el desarrollo de las cáscaras de hormigón acabaron con la empresa. Después de la II Guerra Mundial, sólo hubo un goteo de edificios; Guastavino hijo ya había vendido su participación a Malcolm Blodgett en 1943, y éste murió en 1956. Los fiduciarios de la propiedad comenzaron la liquidación de la Compañía en 1962.

Las bóvedas tabicadas todavía se construyen en España y presumiblemente en América Latina. En cierto momento, Fidel Castro reunió a unos cuantos albañiles catalanes para que enseñasen a los arquitectos de su país a construir sin acero, un material que por entonces le estaba vedado.[83] Pero en los Estados Unidos, la bóveda de Guastavino ha caído en desuso, literalmente aniquilada por su alto precio. La vanguardia nunca la empleó, aunque los arquitectos modernos se inclinaron en cierto momento hacia algunos de los efectos de esos suntuosos espacios abovedados y de esas líneas dinámicas que los Guastavino aportaron a nuestras construcciones comerciales, escuelas, residencias, edificios públicos y lugares de culto cuando nacía el siglo XX.[84]

Apéndice I

Se pueden consultar las siguientes publicaciones, colocadas aquí en orden cronológico, para encontrar información descriptiva o técnica acerca de las bóvedas tabicadas españolas. Sólo se incluyen las obras que el autor ha examinado personalmente. Como regla general, no se mencionan las publicaciones que tratan exclusivamente de las bóvedas de Antonio Gaudí o de los Guastavino.

Fray Lorenzo de San Nicolás, *Arte y uso de la arquitectura* (Madrid), en dos partes. I parte en edición de 1633; II parte, de 1664. En sus ediciones tempranas habla de la «bóveda de yeso tabicado» y de «capilla baída»; así mismo, considera que hay tres tipos de bóvedas: «de yeso tabicado, de rosca de ladrillo y de cantería».

Christianus Rieger, *Elementos de toda la arquitectura civil, con las más singulares observaciones de los modernos,* Madrid, 1763. Interesa principalmente con D'Espic y la obra francesa. En el latín original del cual fue traducido (Praga y Trieste, 1756) no es consciente de la tradición española.

Benito Bails, *Arquitectura civil,* Madrid, 1783. Inicia el volumen 9, I parte de *Elementos de matemática,* de 1779 en varias ediciones. Ver nota 31.

Benito Bails, *Diccionario de arquitectura civil,* Madrid: Viuda de Ibarra, 1802 (edición póstuma)

Francisco Javier Boguerín, «Construcción de bóvedas de ladrillo sin el auxilio de cimbras ni yeso», *Revista de obras públicas*, 3, Madrid (1855): 135–136. Tratando solamente de Extremadura.

Florencio Ger y Lobez, *Manual de construcción civil,* Badajoz: Imprenta de José Santamaría, 1869. Existe una edición posterior aumentada de 1898.

José A. Rebolledo, *Construcción general*, Madrid: Antonio García, 1875. 2 volúmenes.

José Albarrán, «Bóvedas de ladrillo que se ejecutan sin cimbra», *Anales de la construcción y de la industria*, 10 (1885): 161–163, 178–182, 214–217, plancha 12. Muy completa, pero basada solamente en la experiencia en Extremadura.

Rafael Guastavino, artículos de 1889–1890 sobre la construcción cohesiva. Ver apéndice II

R. Guastavino, libro de 1892–1893 sobre la construcción cohesiva. Ver apéndice II.

R. Guastavino, lectura y artículo acerca de la construcción cohesiva de 1893. Ver apéndice II.

R. Guastavino, libro de la Función de la mampostería, 1896. Ver apéndice II.

José Domenech Estapá, «La fábrica de ladrillo en la construcción catalana», *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña* (1900): 37–48. Atribuye la importante resistencia de la bóveda tabicada a la naturaleza de su arcilla y su mortero. Análisis por estática gráfica.

José Puig Cadalfach tiene una ponencia en la construcción catalana en el Congreso Internacional de Arquitectos en Madrid de 1904 el cual fue resumido en su *Comptes Rendus* (469–470), pero no hemos sido capaces de encontrarlo entre sus archivos, que ahora pertenecen a su hija, en Barcelona. [José Puig i Cadalfach, «Ponencia sobre la construcción catalana», *Congrès international des architectes, Madrid, 1904,* Madrid: Imprenta de J. Sastre, 1906, 469–470.]

Rafael Guastavino, 1904, libro de la Función de la mampostería y ponencia en el Congreso Internacional de Madrid. Ver apéndice II.

Jerónimo Martorell, «Estructuras de ladrillo y hierro atirantado en la arquitectura catalana moderna», *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña* (1910): 119–146. Tratamiento histórico y morfológico, con cálculos. Cita las publicaciones de Guastavino ilustradas con ejemplos españoles contemporáneos.

Jaime Bayó, «La bóveda tabicada», *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña* (1910): 157–184. Supone un esfuerzo en el análisis por la teoría de la elasticidad. Cita los cálculos de Guastavino.

Juan Rubió, «Dificultats per arribar a la sintessis arquitectònica», *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña* (1913): 63–79. Encuentra dificultades en el cálculo de la acción de la bóveda. Hace una especial referencia a Gaudí.

Félix Cardellach, *Filosofía de las estructuras,* Barcelona, 1910. Edición francesa de París, 1914. Texto básico, por un poeta-ingeniero.

Joaquin Bassegoda y Amigó, «Transició de les voltes de pedra a les de maó de pla en las esglesies de Catalunya», *Memòries de la Acadèmia de ciències i arts de Barcelona,* 3ª época, 25, 15 (1936): 353–357. Entiende las bóvedas como un Renacimiento importado de Italia.

Buenaventura Bassegoda y Muste, *La bóveda catalana,* Barcelona, 1947. Lectura del 26 de noviembre de 1946 en la Escuela de Arquitectura. Muy completa

Luis Moya Blanco, *Bóvedas tabicadas,* Madrid: Dirección General de Arquitectura, 1947. Copiosamente ilustrado, incluyendo los antiguos dibujos de Guastavino para el album de Belmás.

Ignacio Bosch Reitg, «La bóveda vaída tabicada», *Revista Nacional de Arquitectura, 9* (Mayo de 1949): 185–199. Discurso de la bóveda simple.

Ángel Pereda, *Bóvedas tabicadas, cálculo y ejemplos resueltos,* Santander: Editorial Cantabria, 1951.

Santiago Rubió, *Cálculo funicular del hormigón armado*, Buenos Aires: Gustavo Gili, 1952. La extensión del método de Gaudí de cálculo de bóvedas al hormigón armado.

Jaime Bergós, *Materiales y elementos de construcción,* Barcelona, 1953. Excelente, con muchos diagramas expuestos con claridad. Ilustrado con referencia a la obra y dichos de Gaudí y a los textos de Guastavino.

Buenaventura Bassegoda y Musté, *Bóvedas tabicadas,* Madrid, ca. 1957. Publicado por el Instituto Eduardo Torroja.

John Fitchen, «Some contemporary techniques of arch construction in Spain», *Journal of the American Institute of Architects,* 34 (Diciembre de 1960): 32–34.

F. Cassinello, *Bóvedas de ladrillo,* Madrid, 1961. Manual de usos, también publicado por el Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y el Cemento.

George R. Collins, «Antonio Gaudí: Structure and Form», *Perspecta 8*, Universidad de Yale (1963): 63–90. Más general que lo que indica el título. Consúltense únicamente las copias corregidas, y téngase cuidado con los errores de imprenta.

Juan Bergós, *Tabicados huecos*, Barcelona: Colegio de Arquitectos de Cataluña y Baleares, 1965. Con ilustraciones valiosas. Existe mucha experiencia personal. Las estadísticas están dibujadas a partir de ensayos de laboratorio.

Apéndice II

Rafael Guastavino Moreno: nacido en Valencia el 1 de marzo de 1842; muerto en Asheville, Carolina del norte el 2 de febrero de 1908.

Rafael Guastavino Expósito: nacido en Barcelona el 12 de mayo de 1872; fallecido en Bayshore, Long Island el 20 de octubre de 1950.

PUBLICACIONES DEL PROPIO GUASTAVINO

«Improving the Healthfulness of Industrial Towns», una muestra de planos de edificios y fábricas enviadas a la Exposición del Centenario de Filadelfia de 1876. Actualmente se encuentran en paradero desconocido.

Dibujos de interiores y mobiliario en varios estilos para *The Decorator and Furnisher*, New York, 1 (1882–1883): 44, 45, 75, 107, 139; 2 (1883): 16, 46, 85, 118, 156, 157, 162, 200; 3 (1883):61, 90.

«The Theory and Hisory of Cohesive Construction», *American Architect and Building News*, 26, 724 (9 de noviembre de 1889): 218–220.

«Cohesive Construction: Applications-Industrial Sections», *American Architect and Building News,* 27, 739 (22 de febrero de 1890): 123–126 y láms.

Essay on the Theory and History of Cohesive construction, Boston: Ticknot, 1892; 2ª edición de 1893, que aparece sin

cambios, excepto algunas correcciones tipográficas menores.
«The Building of the Spanish Government at the World's Fair», *American Architect and Building News,* 41, 916 (15 de noviembre de 1893): 44–45 y lám.
«The Cohesive Construction. Its Past, its Present, its Future?», una lectura en el Congreso de Arquitectos en la Exposición Mundial de Columbia (5 de agosto de 1893), impresa privadamente. Fue publicada en *American Architect and Building News,* 41, 922, (25 de agosto de 1893): 125–129
Prolegomenos on the Function of Masonry in Modern Architectural Structures, New York City: Record and Guide Press, 1896. Ésta es la primera parte.
The Function of Masonry in Modern Architectural Structures, Parte 2, Boston: America Printing Co., 1904.
Función de la mampostería en las modernas construcciones arquitectónicas, Partes 1 y 2, sin datos de lugar, editor o fecha. Es una traducción española de las publicaciones de 1896 y 1904.
«Function de la maçonnerie dans les constructions modernes», en *Congrès international des architectes, Madrid, 1904*, Madrid: Imprenta de J. Sastre, 1906, 337–360.

Notas

1. Las categorías de Repton se describen en J. C. Loudon, *Landscape Gardening and Landscape Architecture of the Late Humphrey Repton,* Londres, 1811, 387 y ss.
2. Esto lo indica en su informe fechado en Madrid en 1904, 352. (Véase el apéndice II, con referencias completas de todas las publicaciones de Guastavino ordenadas cronológicamente.)
3. Esta hazaña fue descrita con todo detalle y gran entusiasmo en numerosas publicaciones de arquitectura, ingeniería e información en general, entre ellas: «Disaster defied on the Cathedral Dome», *N.Y. Herald* (19 de septiembre de 1909); «America's largest Dome erected without Scaffolding or falsework Support», *Scientific American* (30 de octubre de 1909): 277; «Erecting a large dome without Falsework», *The Engineering Record,* 40, 19 (6 de noviembre de 1909): 508-510; «The Dome of the Cathedral of St. John Hue Divine», *International Studio,* 40 (1910): 14–15; el número entero de *The N.Y. Architect,* 5 (abril de 1911); *The American Architect,* 99 (abril de 1911): 145–152; Brooklyn Institute of Arts & Sciences, *Bulletin* (1911): 343; «A Large Dome built without Centering» *Journal of the Architectural Association,* 43, 488 (octubre de 1927): 131 y ss.

   La ejecución de esta cúpula, con un radio de unos 20 metros, fue sin duda una de las grandes proezas constructivas del siglo XX. Debe su existencia a Rafael hijo, que había trabajado como capataz en la construcción de grandes cúpulas durante casi dos decenios a las órdenes de su padre (muerto en 1908, antes de que comenzase la construcción de esta obra).

   La economía de la construcción de Guastavino en aquella época puede apreciarse en el hecho de que el precio contratado para levantar las cuatro pechinas y la cúpula fue de 22.200 dólares, de los cuales 11.900 eran para las pechinas y 10.300 para cúpula propiamente dicha. Se calculó también que se habían ahorrado 2.000 dólares por no levantar andamios, y aún más por no tener que desmontarlos.
4. Guastavino padre resaltó reiteradamente esta ventaja que encontró en las bóvedas tabicadas con respecto a las bóvedas de hormigón de conglomerado corriente. Véanse, por ejemplo: R. Guastavino, *Cohesive construction* (1892–1893), 14, 51 y 56; y *Function of Masonry,* 2, 48–49.
5. Esa manera tan ingeniosa de extender en el espacio varias hiladas de ladrillos simultáneamente entrelazados y solapados, y de comenzar la obra en la imposta (o en una acanaladura) haciendo un surco en el muro, la describen Peter B. Wight en *Brickbuilder,* 10 (mayo de 1901): 101, y G. Perrine en *The N.Y. Architect,* (abril 1911).
6. Ignacio Bosch Reitg, «La bóveda vaída tabicada», *Revista Nacional de Arquitectura,* 9 (1949): 185 y ss. Nuestra figura 7 aparece en la página 187 de este artículo. Bosch Reitg supone que la habitual bóveda rectangular de forma semiesférica (la «bóveda vaída») puede entenderse como un conjunto concéntrico de líneas de fuerza rectangulares cuyas resultantes son diagonales que irradian desde las esquinas de la crujía de cada bóveda; y él contrarresta estas fuerzas resultantes mediante tirantes ocultos en la fábrica que pasa por encima del borde de las bóvedas. Un edificio proyectado conforme a este sistema, un gran hospital en Gerona, fue declarado peligroso y nunca se terminó. Cuando quien esto escribe visitó el edificio en 1963, no estaba claro si los defectos se debían a la construcción de una sola hoja. Guastavino habría calificado estas superficies de una sola hoja como bóvedas de dovelas debido a la escasa superficie en contacto con el mortero, que él consideraba la esencia de las propiedades cohesivas de la bóveda. Los responsables de *The American Architect and Building News* se hicieron eco de su opinión sobre el mortero: 26 (16 de noviembre de 1889): 225.
7. Este incidente fue muy comentado en las revistas técnicas; por ejemplo en *Engineering News,* 22 (9 de noviembre de 1889): 435. La compañía de Guastavino le sacó mucho partido (nuestra ilustración procede de una foto publicitaria).
8. I. Bosch Reitg, «La bóveda vaída tabicada», 185.
9. Reproducimos íntegramente el informe del ensayo publicado en *Brickbuilder,* 6 (1897): 75:

   «Recientemente se ha llevado a cabo una prueba muy interesante de la construcción con bóvedas de la firma Guastavino. El experimento se realizó en la Calle 68 esquina a la Avenida A, en Nueva York, y combinó un incendio y una prueba de carga. Un espacio de 3,35 por 4,26 m se cerró con muros de ladrillo y se cubrió con una bóveda normal de Guastavino con tres capas de rasillas, de un espesor total de unos 9 cm, y una flecha del 10 por ciento. Sobre la mitad de la superficie de la bóveda se echó un relleno de hormigón hasta una altura de 5 centímetros por encima de la coronación, mientras que los riñones de la otra mitad se construyeron con ner-

vios o tabiquillos conectados mediante dos hiladas de rasillas, dejando espacios huecos tal como se indica en el diagrama (Fig. 10). Con esto se trataba de certificar si un tipo de construcción se vería más afectado por el fuego que el otro. Se encendió una hoguera en la cámara situada debajo de la bóveda y los gases se extrajeron a través de salidas de humos colocadas en los rincones del rectángulo.

La temperatura lograda en la cámara de combustión varió entre los 2.000 y los 2.500 grados Farenheit, llegando a alcanzarse a veces los 2.525 grados. Durante este tiempo hubo una carga fija de unos 700 kg por metro cuadrado sobre la bóveda. Una cuidadosa observación no detectó deformación alguna debida a la carga antes del fuego. Durante la prueba, el techo y los muros se elevaron por dilatación 1,27 centímetros; y la coronación de la bóveda, 0,64 cm. Tras ser expuesta al calor durante cinco horas, se echó agua a la bóveda desde abajo y se apagó el fuego. Debido a la acción del descenso súbito de la temperatura cuando se echó el agua, la hoja inferior se cayó en unos cuantos sitios. Cuando se enfrió la bóveda, la deformación quedó tan sólo en 0,56 cm, pero cuando se retiró la carga la bóveda se volvió a elevar hasta quedarse con una deformación de 0,43 cm. Después de esto, se aplicó de nuevo la carga y se aumentó hasta los 3000 kilos por metro cuadrado, con lo que se llegó a un total de unas de 50 toneladas. La operación de carga duró unas seis horas, y durante este tiempo el techo descendió gradualmente en la coronación hasta alcanzar una deformación de 0,94 cm, quedando a continuación en esa posición.

La carga y el fuego fueron en este caso mucho más intensos que en las pruebas anteriores, especialmente la carga después del incendio. No se apreció diferencia alguna en el comportamiento de los dos métodos de construcción por encima de la bóveda».

Los datos oficiales del Departamento de Edificación y las fotografías de la construcción sometida a la prueba están en el Archivo Guastavino de la Universidad de Columbia. Para nuestra figura 10 hemos usado los diagramas de la descripción algo más completa aparecida en *American Architect and Building News,* 56, 115 (8 de mayo de 1897): 45. Véase también *Engineering Record,* 36 (9 de octubre de 1897): 403–404.

10. Los muros, construidos por otros contratistas, a veces resultaban insuficientes. Esto es lo que ocurrió en las alas H y E del Museo Metropolitano de Nueva York, donde se formaron grietas debidas, según parece, a la debilidad de los muros; y como no pudieron encontrarse ingenieros que predijeran —con fiabilidad suficiente para satisfacer a las compañías de seguros— el comportamiento de las bóvedas existentes cuando fueran sometidas al peso de la multitud de una gran exposición, las bóvedas de Guastavino se demolieron y fueron reemplazadas por forjados de hormigón.
11. Lamentándose por la falta de información impresa fiable acerca del método constructivo por cohesión, Guastavino padre escribía: «Las naciones, en el último siglo y medio, más avanzadas en cuanto a obras científicas y literarias, y en las que más se había escrito sobre las ciencias aplicadas, eran Inglaterra, Francia y Alemania. Pero en estos lugares la forma errónea de sus ladrillos, y la pobre calidad de su construcción, proporcionaban frecuentemente el espectáculo de que al demoler los muros de cualquiera de sus edificios y retirar los ladrillos, éstos estaban tan limpios, sin mortero adherido a ellos, que podían usarse de nuevo en otros muros». (*Cohesive construction,* 1892–1893, 19.)
12. Pol Abraham en *L'Architecture Française,* 2, 13 (noviembre de 1941): 37–43; *L'Architecture Française,* 2, 15 (enero de 1942): 25–34; *La Génie Civil,* 99, 1–2 (3–10 de enero de 1942): 16–17; y *Beaux Arts* (16 de enero de 1942). Con respecto a los costes, véase la nota 3.
13. «Problèmes algeriens: voûtes minces dites rhorfas», *L'Architecture d'Aujourd'hui,* 16, 3 (septiembre-octubre de 1945): 32–35.
14. Guastavino estudió los forjados en *Cohesive construction:* 99 y ss.
15. La primera patente de Guastavino (número 323.930, 11 de agosto de 1885) era de un tabique. También estudió sus muros huecos (dobles) con cierta extensión en *Cohesive construction,* 109.
16. Banister estudia e ilustra la bóveda imperial en «The Rousillon vault. The apoteosis of a «folk» construction», *Journal of the Society of Architectural Historians*, 27, 3, (1968): 163–175.
17. La segunda patente de Guastavino fue la escalera de tipo parabólico (número 336.047, 9 de febrero de 1886). La manera de montarla se exponía en *Cohesive construction*, 131 y ss, y se ilustró con plantas, secciones y diagramas en *The Brickbuilder,* 10 (octubre de 1901): 212 y ss. Los Guastavino realizaron innumerables ejemplos de estas escaleras, que eran unas de sus obras menores más comunes. Algunas célebres residencias norteamericanas las poseen, entre ellas: Boston, Massachusetts: Col. Thomas S. Bradlee, 1928; Short Hills, New Jersey: Jospeh P. Day, 1914; Greenlaw, Long Island: Charles A. Gould, 1909; Riverside, Connecticut: Langeloth, 1913; Manhasset, L.I.: Louis Sherry, 1912; Nueva York: Erdman, 1910; J.T y J.A. Farley, 1902; Howell, 1920; C.W. Luyster, Jr., 1910; J.C. Lyons, antes de 1900; Stanley Mortimer, 1919; F, de Saint Phalle, 1920; Percy R. Pyne, 1910; Geraldyn Redmond, 1913; Oakleigh Thorne, 1911; Payne Whitney, 1903.
18. Véase, por ejemplo, Bannister, «The Rousillon vault», nota 13.
19. El madrileño Luis Moya Blanco, uno de los más famosos arquitectos españoles que usaron las bóvedas tabicadas — y que dedicó mucha atención a los prototipos históricos—, construyó muchas de ellas a la manera de las bóvedas nervadas islámicas (Fig. 28). Véase su libro *Bóvedas tabicadas,* de 1947, incluido en el apéndice I.
20. A. Choisy, *L'art de bâtir chez les Romains,* París, 1873. Versión castellana: *El arte de construir en Roma*, Madrid: Instituto Juan de Herrera, CEHOPU, CEDEX, 1999, 60–71; G. Aitchison, «Roman Construction», *The Builder,* 36 (16 de marzo de 1889): 200. Guastavino admiraba mucho el libro de Choisy y consideraba que las bóvedas tabicadas del Levante español habían evolucionado a par-

tir del encofrado cerámico de los romanos (*Function of Masonry*, 2, 52). Véase J. Fitchen, *The Construction of Gothic Cathedrals* Oxford, 1961, 64–69, donde hay un análisis moderno de la técnica romana del abovedado por cohesión (y de la tendencia de las bóvedas medievales a funcionar como cáscaras delgadas de doble curvatura).

21. Le Corbusier representa una curiosa manifestación moderna de esta teoría, puesto que las soluciones aplicadas en las casas Jaoul y otras obras, que él denomina bóvedas «a la catalana», son en realidad bóvedas de hormigón a la manera romana.
22. Guastavino también se refería a ellas como «bóvedas de panderete», otra expresión que indica su cualidad tensa; también los tabiques se llaman «panderetes».
23. Las publicaciones españolas de esa época son de Fray Lorenzo de San Nicolás (hacia 1630), Christianus Rieger (1763) y Benito Bails (finales del siglo XVIII). Los datos completos, ordenados cronológicamente, están en el apéndice I. Las publicaciones y los ejemplos franceses han sido estudiados exhaustivamente por Bannister, «The Rousillon vault»*;* a su bibliografía sólo habría que añadir los libros de Rieger, Bails y Choisy. Este último opinaba que la bóveda del Rosellón se remontaba a las costumbres romanas, especialmente en lo relativo a su método de ejecución. Sobre Choisy, véase la nota 20.
24. Información aportada por Juan Ainaud de Lasarte, de Barcelona.
25. Una lista incompleta de las bóvedas tabicadas construidas en España en la Edad Media nos dará una idea de la importancia de este método de abovedado en el litoral oriental de la Península Ibérica:

    Badalona: cartuja de Montelup. Barcelona: salón del Tinell (siglo XIV), Santa María del Mar (1320–1370), casas en la calle Moncada (siglos XIV–XVII), Santa María del Pino (siglo XV), hospital de la Santa Cruz (principios del siglo XV). Lérida: hospital de Santa María (siglo XV), La Seo, capilla de Santa María la Antigua. Poblet: dormitorio del siglo XIII, escalera helicoidal de la torre del Prior (siglo XV). Monasterio de Santes Creus: claustro, nave y oratorio. Valencia: iglesia de los Santos Juanes, 1368. Reconozco que he obtenido esta lista a partir de obras de otros autores y que no he comprobado personalmente ninguno de los edificios, dado que resulta muy difícil hacerlo, salvo en el caso de que hayan sufrido daños o estén en proceso de reparación. Muchos de estos ejemplos constan de una bóveda con forjado plano sobre nervios de piedra o bien entre ellos. Domenech i Estapá (citado en el apéndice I) aporta cifras sobre la extremada delgadez de las bóvedas medievales tabicadas catalanas: incluso de 3,8 cm.
26. Véase Bannister, «The Rousillon vault», nota 79.
27. Sobre esta tradición en Italia, véanse: Choisy, *El arte de construir en Roma.;* Aitchison, *Roman construction;* y *American Architect and Building News,* 26, 716 (14 de septiembre de 1889): 117–118 (sobre los orígenes romanos); F. Jaoul, *Vocabolario di architettura e di arti affini...* (Nápoles, 1874), 371 (breve definición); G.C. Mars, *Brickwork in Italy* Chicago, 1925, 181 (breve mención); J. Bassegoda y Amigó, «Transició de les voltes de pedra a les de maó de pla en les esglesies de Catalunya», *Memòries de la Academia de ciències i arts de Barcelona*, 3ª época, 25, 15 (1936), como se cita en el apéndice I (supuesta influencia en Cataluña); R.E. Enthoven, «Vaults without centering», *Architects Journal,* 103 (11 de abril de 1946): 284; C. Sattler, «Leichtgwölbebau», en F. Hess, *Steinverbände und Gewölbebau aus künstlichen Steinen,* Múnich, 1948, 87 y ss. Estoy en deuda con el profesor Richard Pommer, de Vassar, por la fotografía de una bóveda de este tipo en una capilla de la población de Gerbido, cerca de Turín, de 1760 aproximadamente, y de arquitecto desconocido.

    En relación con la costumbre italiana, es muy interesante la diferencia de opiniones entre Gianlorenzo Bernini y Claude Perrault acerca de la calidad relativa de las fábricas francesa e italiana para construir el Louvre en 1665. Para defender su postura, cada uno de ellos hizo construir unos muros y una bóveda siguiendo la costumbre de su país. La fábrica francesa de Perrault resistió; la de Bernini se vino abajo por efecto de la congelación y el desmoronamiento del mortero. Por la descripción queda claro que Bernini usó una construcción por cohesión mientras que los franceses levantaron una fábrica de piedra. Sin embargo, no hay indicación alguna de que la bóveda italiana fuese *a foglia.* Véase Charles Perrault, *Mémoires de ma vie* edición de 1909, París, 63 y ss, citado en la edición hecha por Lalanne del *Bernini* de Chantelou 126 y ss.
28. Bannister, «The Rousillon vault», 163.
29. Pero sobre esto véase Bannister, «The Rousillon vault», nota 16.
30. Tal vez sea una simple coincidencia que la Academia Francesa comenzase a mostrar cierto interés en el sistema de abovedado del Rosellón en 1747, el año en que dio comienzo la enseñanza independiente de la ingeniería en Francia (en la École des Ponts et Chausées). La Academia volvió a tratar este tema ocasionalmente en sus reuniones oficiales durante los ocho años que van desde 1747 a 1755: 12 y 19 de junio y 3 de julio de 1747; 30 de junio de 1750; 14 de enero, 19 de agosto, 10 y 16 de diciembre de 1754; y 8, 14, 21 y 28 de abril de 1755. Al final los académicos se inclinaron (el 28 de abril de 1755) en favor de unos arcos y bóvedas de rosca de ladrillo bastante convencionales, ante la evidencia de que se les habían presentado en una serie de modelos, memorias y pruebas reales de construcciones existentes. Esta miopía de los académicos franceses contrasta con la iniciativa de los ingenieros, que casi inmediatamente habían comprendido las virtudes del sistema del Rosellón.
31. Si la *voûte plate* hubiese sido una forma popular en cualquier parte de la Francia medieval, sería de esperar que Viollet-le-Duc la hubiese incluido en su *Dictionnaire,* puesto que estaba fascinado por cómo se montaban y funcionaban las cosas. Por el contrario, Viollet no las describe, salvo en una referencia de pasada en relación con las bóvedas romanas (*Dictionnaire,* 9, 467), que se hace eco de Choisy, de cuyo manuscrito inédito tenía conocimiento.
32. El español Benito Bails es un testigo importante de la prioridad e influencia de la bóveda española. Escribiendo

en la década de 1780 sobre las «bóvedas tabicadas», Bails insistía en que eran muy antiguas en España, especialmente en la región aragonesa (y, por tanto, catalana), desde donde se habían extendido a Francia y a otras partes de España (página 567). Bails no sólo tenía conocimiento de los tratados franceses sobre la bóveda del Rosellón —de los que extrajo algunas ilustracionesæ, sino que citaba extensamente los escritos de Fray Lorenzo de San Nicolás relativos a este tema (véase el apéndice I).

33. Los pisos superiores del Palacio de Aviñón fueron subdivididos con forjados intermedios, y a principios de siglo XIX se convirtieron en cuarteles del Cuerpo Imperial de Ingenieros, que usaron bóvedas del Rosellón para hacer estas obras (Abraham, *Architecture Française,* como se cita en la nota 12). Abraham supone que el abandono de las *voûtes plates* en Francia se debió a la popularidad de la construcción con vigas metálicas, si bien Bannister, «The Rousillon vault», 169, la atribuye a la popularidad del abovedado con vasijas huecas.
34. El uso de estas bóvedas en la construcción rural de la provincia de Lérida ha sido estudiado por Bergós, *Tabicados huecos,* 1965 (véase el apéndice I), 9 y ss.
35. Véase la nota 25.
36. Los nombres que se han de tener en cuenta en el desarrollo de las bóvedas catalanas o en el estudio de su historia son:
    — Juan Torras Guardiola (1828–1910), el «Eiffel español» y maestro de Guastavino;
    — Rafael Guastavino Moreno (1842–1908);
    — Luis Domenech i Montaner (1852–1919), constructor de una amplia gama de tipos de bóveda;
    Antonio Gaudí (1852–1926), el más radical inventor de formas;
    José Domenech i Estapá (1858–1917), un importante teórico;
    — Luis Moncunill (1868–1931), con obras en Tarrasa;
    José Puig i Cadafalch (1869–1956), el más internacional de todos ellos;
    Juan Rubió i Bellver (1870?–1952), seguidor de Gaudí;
    Jaime Bayó Font (1873–hacia 1962), profesor y contratista;
    Jerónimo Martorell (1877–1951), profesional y cronista.
    Nótese que hay cuatro generaciones indicadas mediante guiones en la lista.
37. Muchas de esas obras se describen e ilustran en P.B. Wight, «The Works of Rafael Guastavino», en *Brickbuilder,* 10 (abril, mayo, septiembre y octubre de 1901): 79–81, 100–102, 184–188 y 211–214. Según parece, Guastavino también fue el responsable de la construcción y la «extraordinaria» iluminación de un monumento de Barcelona: la Plaza Nacional (ahora Plaza Real), que formó parte de las celebraciones que marcaron el advenimiento de la I República en 1868. La fábrica Batlló se transformó en una escuela en 1908, y fue considerablemente modificada y ampliada a partir de esa fecha por Juan Rubió (véase la nota anterior). La figura 25 b está tomada de un folleto que recuerda la fundación de la escuela: *Visita de S.M. el Rey D. Alfonso XIII a los terrenos y edificios donde ha de instalarse la Universidad Industrial de Barcelona* (Barcelona, 1908).
38. Véase *Cohesive construction* (1892–1893), páginas 113 y ss.
39. «Con el uso de materiales hidráulicos, esto es, de morteros que no necesiten exposición al aire para fraguar rápidamente, hemos logrado la revitalización de la construcción cohesiva». *Function of Masonry,* 2 (1904), 30.
40. Muchos autores que estudian la obra de Guastavino evidentemente no han conseguido darse cuenta de que existieron un padre y un hijo con el mismo nombre.
41. Sobre las obras de este tipo hechas por Gaudí, véanse «Antonio Gaudí, Structure and Form», en *Perspecta,* 8, y J. Bergós, *Tabicados huecos,* 1965 (ambos citados en el apéndice I). Sobre Domenech véase el número doble de *Cuadernos de Arquitectura,* 52–53, 1963. La influencia de Guastavino en Gaudí es un tema que podría estudiarse; ambos alcanzaron una gran elegancia en sus fábricas al abandonar los tirantes vistos que eran frecuentes en las obras catalanas. Al parecer, Guastavino tuvo contactos con los mecenas de Gaudí, la familia Güell, que se dedicaron a fabricar cemento Portland de gran calidad por mediación suya. En 1898 (el 30 de abril), los responsables de *American Architect and Building News* publicaron por error que Guastavino había construido el Palacio Güell, de Gaudí, quizá debido a una conversación que Guastavino había tenido con ellos acerca de los Güell.
42. Expresó esta opinión en *American Architect and Building News,* 26, 724 (9 de noviembre de 1889): 220, y lo repitió en la misma revista una semana más tarde, página 225.
43. Ibídem.
44. Domenech i Estapá, 1900; Martorell y Bayó, 1910; y Rubió, 1913. Véase el apéndice I. Comentarios sobre sus teorías pueden encontrarse en Bergós, *Tabicados huecos,* 1965, citado en el mismo apéndice.
45. Este hecho se relata en varias publicaciones, entre ellas *Cohesive construction,* 1892–1893, 17 y 113, y *Brickbuilder,* 10 (septiembre de 1901): 184. Aunque parece que el material enviado se conservó, no hemos podido encontrar resto alguno de él ni en la familia, ni en la Compañía, ni en España, ni en Filadelfia.
46. Los detalles de la historia familiar, sumamente pintoresca, de los Guastavino los dejamos para el nieto, también llamado Rafael, que está preparando para su publicación una biografía de las diversas generaciones.
47. Aparecidos uno cada mes entre noviembre de 1882 y diciembre de 1883.
48. Un encargo importante fue el de Bernard S. Levy en el 121 de la calle 78 Oeste, en Manhattan. Esta residencia al parecer aún está en pie, como parte de la manzana 121–131. La fachada se compone de seis viviendas de una fábrica de ladrillo sumamente articulada, con algunos detalles islámicos similares a los del Progress Club. El diseño recuerda mucho a los de Barcelona del mismo periodo, en especial a la obra de su coetáneo Juan Martorell. Lo divertido es que los distintos propietarios de las casas las han pintado de un modo alegre y multicolor que realza la articulación y contrasta con el aspecto monocromático

del resto de la calle, hecho con esa piedra rojiza habitual en Nueva York.

49. Sin embargo, todos los indicios llevan a pensar que las bóvedas llegaron a América Latina con los españoles. McAndrew habla de ellas en la Capilla Real de Cholula, de mediados del siglo XVI, y supone que son una creación local. (*Open-air Churches of 16th century Mexico*, Cambridge, 1965, 405). Con toda probabilidad procedían de España, pero no —como indica el autor— de las construcciones islámicas españolas a las que la capilla, por otro lado, recuerda. Los únicos ejemplos anteriores en Norteamérica eran las ingeniosas bóvedas cohesivas de Robert Mills en Washington D.C., que no parecen haber tenido imitadores. Puede que procediesen de la tradición francesa, como sugiere Bannister, «The Rousillon vault», 169 y nota 83.
50. Louis de Coppet Berg, en su serie «Edificios seguros» de *American Architect and Building News* (desde marzo de 1886 hasta diciembre de 1890), describió el arco de Guastavino el 3 de diciembre de 1887, 265.
51. Incluidos en *Cohesive construction*, 1892–1893, 58–59. Según parece, Berg utilizó los mismos resultados y puede que cooperase en las pruebas.
52. R. Guastavino, *Cohesive construction*, 148.
53. De ello se informa en *Engineering News*, 22, (9 de noviembre de 1889), 434.
54. A continuación se enumeran las patentes en poder de Guastavino, ya sea solo o con otros. Están ordenadas por número, fecha de aprobación y título (que apenas da una idea del principio concreto al que se refiere).
323.930 Construcción de edificios resistentes al fuego, 11 agosto 1885.
336.047 Edificación resistente al fuego, 9 febrero 1886.
336.048 Construcción de edificios resistentes al fuego, misma fecha.
383.050 Edificación resistente al fuego, 15 mayo 1888.
430.122 Construcción de arcos cerámicos para techos, escaleras, etcétera, 17 junio 1890.
464.562 Construcción de edificios, 8 diciembre 1891.
464.563 Techo-suelo cohesivo, misma fecha.
466.536 Techo-suelo cohesivo, 5 enero 1892.
468.296 Construcción de edificios, 2 febrero 1892.
468.871 Construcción de edificios resistentes al fuego, 16 febrero 1871.
471.173 Arco hueco cohesivo, 22 marzo 1892.
481.755 Dintel-techo combinado cohesivo, 30 agosto 1892.
548.160 Pieza cerámica para la construcción, 15 octubre 1895
670.777 Horno para bloques de acristalamiento, 26 marzo 1901.
915.026 Estructura de fábrica y acero, 9 marzo 1909.
947.177 Estructura de fábrica, 18 enero 1910.
1.052.142 Estructura de fábrica, 4 febrero 1913.
1.057.729 Estructura de fábrica, 1 abril 1913.
1.119.543 Muro y techo de auditorios y similares, 1 diciembre 1914.
1.197.956 Material absorbente de sonido para muros y techos, 12 septiembre 1916.
1.440.073 Material acústico de revestimiento para interiores, 26 diciembre de 1922.
1.563.846 Yeso absorbente de sonido y su método de aplicación, 1 diciembre 1925.
1.917.112 Producto acústico, 4 julio 1933.
2.143.980 Estructura de techo suspendido, 17 enero 1939.
[Todas las patentes de los Guastavinos se han publicado íntegramente en *APT Bulletin* 30 (1999): 59–156. N. del E.]
55. En *American Architect*, 90 (8 de septiembre de 1906), 77.
56. Se trata de la Compañía Comerma. John Comerma, trabajador español de la compañía de Guastavino, logró una patente (1.230.381 del 19 junio 1917) por un descuido de la Oficina de Patentes, ya que se trataba de una infracción. Según parece, los Guastavino se hicieron con ella después de un juicio y le despidieron. En interés de la exactitud podría ser útil citar aquí la descripción incluida en el expediente de la bóveda de Guastavino y su posterior revestimiento acústico inferior: «una estructura de fábrica reforzada que comprende varias capas superpuestas de piezas cerámicas delgadas, estando las piezas de cada hilada enrasadas por los bordes y con sus bordes menores unos junto a otros, y estando dispuestas dichas piezas para solapar transversalmente las juntas de la estructura, con un material de unión entre las piezas cerámicas en cada una de las capas, y también entre los bordes de las piezas adyacentes, y con refuerzos colocados en el material de unión; ... el muro y el techo para auditorios y similares combinan una estructura portante de fábrica y, adosado a ella, una capa interior vista de fábrica enlucida, de estructura esponjiforme, que tiene poros con paredes rígidas que se intercomunican por toda la masa y penetran claramente en la superficie enlucida vista, siendo dichos poros de dimensiones tan proporcionales y diferentes que el mencionado material interno de fábrica posee la propiedad de absorber en más del 10 por ciento de los sonidos comprendidos entre el Do medio y tres octavas por encima».
57. *Cohesive construction*, 1892–1893, 137 y ss.
58. Éste era muy parecido al método empleado por la empresa Atlantic Terracotta (colaboradores frecuentes de los Guastavino) en las galerías del Museo de Arte de Filadelfia: al parecer, otra violación de la patente de Guastavino similar al uso de este sistema por parte de Le Corbusier en las casas Jaoul. Puede encontrarse una descripción de las bóvedas de Filadelfia en James D. van Trump, *Charette*, 45, diciembre, 1965, 8–11.
59. Rafael Guastavino (nieto del primero) posee un dibujo especial de este proyecto, que va a publicar, con quien esto escribe, en lugar aparte.
60. 26, número 724 (9 de noviembre de 1889): 218 y ss; 27, número 739 (22 de febrero de 1890): 123 y ss. Al parecer, Guastavino tenía amistad con los redactores de esta revista, que era editada por Ticknor (conocido por su interés en todo lo español), al igual que lo fue su primer libro.
61. Uno de los relatos más reveladores sobre la personalidad de Guastavino padre se encuentra en la *Autobiography of William E. Blodgett of Woburn, Mass.* Boston Guild, 1938. Blodgett, alcalde de Woburn en 1907–1908, había llevado una vida romántica en el sur y el oeste del país antes de llegar por causalidad a la oficina de Guastavino.

62. El testimonio de Bertram Goodhue sobre su iglesia de Montclair quedó patente en una carta a Guastavino, de fecha 5 de mayo de 1916, cuyo texto se reproduce aquí en su integridad:

«Mi querido señor Guastavino:
El domingo de Pascua asistí a la ceremonia de consagración de la Primera Iglesia Congregacionalista en Montclair. Que yo sepa, nunca antes se había conseguido semejante resultado acústico, salvo posiblemente por casualidad.
No sé si a partir de ahora se podrá dejar de prestar atención a la forma, las proporciones y las dimensiones, pero es indudable que gracias al uso de sus ladrillos acústicos en sustitución del enlucido y la piedra habituales en los muros interiores, la acústica de cualquier iglesia, sala de música o auditorio puede llegar a ser casi, por no decir absolutamente, perfecta.
Todo el mérito es suyo y del señor Sabine, y me resulta difícil expresar la satisfacción que siento por el fruto de tantos años de pacientes esfuerzos dedicados por ustedes dos al perfeccionamiento de este material enteramente nuevo.
Le ruego que acepte mi agradecimiento y mis felicitaciones.
Le saluda atentamente,
(firmado: Bertram Goodhue)»

Véanse también W. C. Sabine «Building Material and Musical Pitch», *Brickbuilder,* 23, número 1 (enero de 1914): 1–6; y W.C. Sabine, *Collected Papers on Acoustics,* Cambridge, 1922, 199 y ss. Y también W. C. Orcutt, *Wallace Clement Sabine: A Study in Achievement,* 208–209, 243–244 (el incidente con Comerma).

63. Véase G. Barkhausen, «Balkendecken», en Durm, *Handbuch der Architektur,* sección 3, volumen 2, parte 1, Darmstadt, 1895, 66–68 y figuras 176 y 178.
64. Véase la nota 36. Lo curioso es que Wight había prestado muy poca atención a Guastavino anteriormente, y que no volvió a hacerlo salvo por una breve nota de 1906 (véase la nota 54). Desde siempre, Wight se había dedicado a fabricar productos de arcilla y a escribir sobre métodos de protección contra el fuego. En 1897, no mencionó a Guastavino en su exhaustivo artículo sobre protección contra el fuego, pese a que ese mismo año se publicó el informe acerca del simulacro de incendio de Guastavino, justo al lado del artículo de Wight en *Brickbuilder* (véase la nota 9).
65. S. Baxter, *Spanish Colonial Architecture in Mexico,* Boston, 1901, 7. El dibujante de los planos de este libro era Bertram Goodhue, posteriormente uno de los principales promotores de las bóvedas de Guastavino (Lincoln, Nebraska, Capitolio estatal, etcétera).
66. Véase el propio relato de Guastavino en *American Architect and Building News,* 41, número 916 (15 de julio de 1893): 44–45 y lámina.
67. Desde el barco en el que regresaba, Belmás escribió una larga e interesante carta a Rafael Guastavino padre, que trataba de la construcción vieja y nueva, de las casas y los forjados de madera, del sistema Guastavino, de los rascacielos y de otros temas importantes. Hay una copia de esta carta en el archivo de Guastavino, gracias a la generosidad de su nieta, la señora de Frank Gulden Jr.
68. «Valencianos sobresalientes: nuestro arquitecto don Rafael Guastavino», *Las Provincias,* diario de Valencia, 33, número 11.713 (20 de septiembre de 1898). F. Rogent y L. Domenech, *Arquitectura moderna de Barcelona,* Barcelona, 1897, láminas 65 y 93.
69. Véase el apéndice II. El escrito se basaba en *Function of Masonry, 2,* del mismo año.
70. Véase la nota 35 y el apéndice I.
71. Véase la nota 19 y el apéndice I (1947).
72. Incluimos el siguiente anuncio, aparecido en *Architectural Forum* en septiembre de 1917, por la información general que contiene:

Sobre el sistema Guastavino de construcción cerámica

Ha llegado a nuestro conocimiento que, en los estudios de algunos arquitectos, el sistema de construcción creado por nosotros y aplicado con éxito durante treinta años sólo se entiende en parte. Nosotros no sólo construimos las cubiertas que forman los techos de iglesias y otros auditorios —rematando el interior con nuestros ladrillos acústicos Rumford, o con baldosines esmaltados o piezas prensadas sin esmaltar, en colores lisos o con efecto policromado—, sino que también construimos con nuestro sistema de arcos cerámicos cohesivos muchos forjados y cubiertas de edificios y partes de edificios que ahora se conciben con frecuencia en acero, hormigón y otros materiales.
Nuestro sistema ofrece grandes ventajas de permanencia y apariencia, muy a menudo combinadas con un menor coste, no sólo para la construcción de cúpulas y arcos de grandes luces (por los que más conocidos somos y con los que con frecuencia se nos identifica exclusivamente), sino también para la construcción de forjados, cubiertas, escaleras, corredores y muchos otros elementos requeridos en una amplia variedad de edificios.
Si revisa usted el trabajo actual de su estudio, tal vez se dé cuenta de que podemos serle de gran utilidad ahora mismo. Se puede hacer una instalación inmediata (que no siempre es el caso con el acero) y podemos garantizarle un rendimiento satisfactorio de todas las contratas. Hace poco, en un importante edificio, Construcciones Guastavino ahorró al cliente el 28% del acero y le ofreció la mejor y más sólida construcción posible.
Considere las ventajas de Construcciones (de fábrica) Guastavino antes de aceptar ofertas en su próximo edificio.
Compañía R. Guastavino.

73. La segunda edición, de 1893, es idéntica a la primera, salvo por las correcciones de algunos errores tipográficos.
74. Sus ideas acerca de la historia del abovedado están parcialmente en desacuerdo con mis propias sugerencias anteriores. Guastavino creía que no quedaban bóvedas tabicadas medievales de importancia (página 29), y que las bóvedas se desarrollaron especialmente en las épocas del Renacimiento y el Barroco en una zona que iba desde Ná-

poles en Italia hasta Murcia en España. Sin embargo, éstas solían ser bóvedas y cúpulas pequeñas en edificios grandes con muros gruesos, en donde el mortero de unión se usaba de un modo insatisfactorio debido a su expansión y a su vulnerabilidad (véase Bannister, «The Rousillon vault», 163). No obstante, se ilustra (página 38) la gran bóveda tabicada barroca de los Desamparados en Valencia. El desarrollo de la bóveda en España estuvo en punto muerto hasta 1868 (fecha de su propia fábrica Batlló) debido a lo inadecuado o impredecible de los morteros.

75. *American Architect and Building News* (9 de noviembre de 1889). Véase el apéndice II.
76. Misma revista (22 de febrero de 1890). Véase el apéndice II.
77. Para todas estas publicaciones, véase el apéndice II.
78. Véase Arturo Soria Puig sobre Cerdá en *Hogar y Arquitectura,* Madrid, 69 (1967): 85 y ss.
79. Escrito para la Exposición Colombina, página 2.
80. *Function of Masonry,* 2, 83.
81. *Function of Masonry,* 1, 41.
82. Lista de las cúpulas ilustradas en la figura 31, con los arquitectos, las fechas de construcción y la luz en su base (pies):
    1. Catedral de San Juan el Divino, Nueva York, N.Y., Heins & La Farge, 1908–1909, (132).
    2. Museo Smithsonian, Washington, D.C, Hornblower y Marshall, 1906–1910, (80).
    3. Instituto de Artes y Ciencias, Brooklyn, N.Y., McKim, Mead & White, 1901, (64).
    4. Iglesia de San Francisco de Sales, Filadelfia, Pa., Henry D. Dagit, 1908–1911, (61)
    5. Banco de Montreal, Canadá, McKim, Mead & White, con A.T. Taylor, 1903–1904, (69).
    6. Iglesia de Santa Bárbara, Brooklyn, N.Y., Helmle & Huberty, 1909, (43).
    7. Compañía Girard Trust, Filadelfia, Pa., McKim, Mead & White, con Allen Evans, 1907, (101).
    8. Universidad de Nueva York, Bronx, N.Y., McKim, Mead & White, 1897, (56).
    9. Monumento nacional a McKinley, Canton, Ohio, H. Van Buren Magonigle, 1905–1906, (56)
    10. Capilla de San Pablo, Universidad de Columbia, Nueva York, N.Y., Howells y Stokes, 1905–1906, (52).
    11. Sinagoga Rodef Sholem, Pittsburgh, Pa., Palmer y Hornbostel, 1905–1908, (90).
    12. Universidad de Virginia, Charlottesville, Va., McKim, Mead & White, 1897, (70).
    13. Casa de los elefantes, parque del Bronx, Nueva York, N.Y., Heins y La Farge, 1906–1910, (34).
    14. Iglesia Presbiteriana de Madison Square, Nueva York, N.Y., McKim, Mead & White, 1904, (46).
    15. Biblioteca en memoria de J.J. Jermain, Sag Harbor, N.Y., Augustus N. Allen, 1909, (30).
83. Véase *Arquitectura Cuba,* 30, 331 (1964); *Cuba revista mensual,* 3, 30 (octubre 1964); y *The Architectural Forum* (abril de 1964 y febrero de 1966).
84. En 1962 tuve la fortuna de obtener la totalidad de los documentos de la Compañía Guastavino —incluidos los detalles constructivos y los datos técnicos— para el Archivo Catalán de Arte y Arquitectura de la Universidad de Columbia. Durante varios años, con la ayuda de una beca del Consejo Norteamericano de Sociedades Académicas, he estado intentando visitar y fotografiar los edificios incluidos en el inventario. Los propios documentos están ya más o menos ordenados, aunque todavía no se han preparado índices por tipo, fecha y arquitecto. Sin embargo, la tarea de hacer informes sobre los edificios reales está lejos de estar terminada, y se ha visto seriamente dificultada por los bienintencionados esfuerzos de los urbanistas de la renovación, que con frecuencia han reemplazado la construcción por un agujero en el terreno justo antes de que llegase el investigador.

    Este artículo constituye la ampliación de un escrito sobre el mismo tema leído en la reunión anual de la Sociedad de Historiadores de la Arquitectura, celebrada en enero de 1966 en Nueva York, así como de un estudio presentado al Congreso Internacional sobre Sistemas Estructurales de Fábrica, celebrado en noviembre de 1967 en Austin, Texas. El Colegio Oficial de Arquitectos de Cataluña y Baleares está preparando la publicación de una monografía sobre los Guastavino.

    Para concluir, quiero expresar mi agradecimiento a dos miembros de la familia Guastavino: Rafael Guastavino (nieto) y la señora de Frank Gulden Jr. Y también a varios miembros de la antigua Compañía Guastavino: A. M. Bartlett, Irving M. Berg, Emma E. Bunker, Rose N. Glenn, Foster M. Summerville y Kenneth B. Williams. La Biblioteca Pública de Boston me proporcionó material y los profesores Dorothea Nyberg y Rudolf Wittkower me ayudaron a cotejar el artículo de Bannister.

En paralelo a Guastavino, las bóvedas tabicadas en Madrid

Javier García-Gutiérrez Mosteiro

Cuando en 1947 Luis Moya publicó su tratado *Bóvedas tabicadas*, en el que reproducía planos y fotografías del álbum de la Guastavino Company —que muchos años antes el arquitecto Mariano Belmás había traído a España— señalaba: «Las obras a que se refiere este álbum son realmente extraordinarias, por sus dimensiones, sencillez de estructura y limpieza de construcción. Guastavino [...] justifica por ellas la fama casi mítica que tiene entre nosotros». Estas palabras, dichas en plena autarquía —momento en que muchos arquitectos españoles se vieron obligados a mirar de nuevo a los métodos tradicionales y a la construcción de bóvedas tabicadas—, pueden inducir a creer que la aventura constructora que los Guastavino habían desarrollado en los Estados Unidos[1] era ampliamente conocida en España; pero ¿hasta qué punto se produjo —podríamos decir que en viaje de vuelta— su efectiva influencia?

La primera gran resonancia de Guastavino en España fue la noticia que de él se tuvo en el Congreso Internacional de Arquitectos celebrado en Madrid en 1904, en el que, representado por el arquitecto Mariano Belmás, aportó su ponencia «The function of masonry in modern architectural structures».[2] Este texto, claramente definitorio de su ideario y de la labor que estaba llevando a cabo en América, ocuparía un lugar destacado en el Congreso (recordemos que tambien participaba el arquitecto Puig i Cadafalch, quien, con su ponencia «Arquitectura catalana», se ocupó del papel representado por las bóvedas tabicadas en la arquitectura catalana y se refirió admirativamente a las construcciones de Guastavino). Belmás aportaría también el —ya citado— *Álbum* de fotografías elaborado por la Guastavino Company: una selección de obras construidas, que resultaba muy significativa de lo que Guastavino entendía como sus mayores logros en los Estados Unidos.[3]

El arquitecto español Mariano Belmás (1850–1916) representa uno de los más eficaces *puentes* tendidos aquellos años entre la cultura arquitectónica española y la del mundo anglosajón; figura muy ligada a Arturo Soria, con el que trabajó en la construcción de la Ciudad Lineal en Madrid, dirige su atención privilegiadamente hacia tres temas que traba intimamente: la construcción, el higienismo y la vivienda social.[4] En 1881 —el mismo año en que Guastavino se establece en Nueva York— Belmás se había trasladado a Inglaterra con el fin de estudiar el panorama de la vivienda social con la perspectiva del higienismo y la salubridad (sus intereses no discurrían, por tanto, muy alejados del estudio «Improving the healthfulness of industrial towns» que Guastavino, en 1876 —aún en su etapa catalana—, había presentado a la Exposición del Centenario de la fundación de Filadelfia).[5]

Probablemente el primer encuentro entre Guastavino y Belmás se produjera con ocasión de la Exposición Universal de Chicago de 1893. Guastavino había sido el arquitecto designado por la administración española para proyectar y construir el Pabellón de España (una arquitectura —acaso personal homenaje a su ciudad natal— explícitamente inspirada en la valenciana Lonja de la Seda); era ya un reputado nombre en el panorama de la arquitectura de los EEUU, que venía de lograr el primer gran triunfo de su sistema de bóvedas con la construcción de la Biblioteca de Boston (realizada, precisamente, en colaboración con la firma McKim, Mead and White: el mismo equipo de arquitectos neoyorquinos que triunfara en la Exposición de Chicago, marcando un punto de inflexión en la evolución de la arquitectura americana).

Por otra parte, Mariano Belmás acudía —junto a Arturo Soria— a la Exposición Colombina con el ánimo de extender al panorama constructivo de los Estados Unidos sus afinidades hacia el mundo anglosajón,[6] y,

también, con la concreta intención de difundir la idea de la Ciudad Lineal y aun encontrar, entre los empresarios americanos, posibles apoyos financieros para la materialización de esa idea (Arturo Soria había presentado —con el título «Sistema de urbanización inventado en 1882»— su proyecto de Ciudad Lineal, resultando finalmente premiado en el certamen).

Guastavino y Belmás asistieron en Chicago al Congreso Internacional de Arquitectos celebrado con motivo de esta exposición. En este congreso Guastavino, con su expresiva ponencia «The cohesive construction. Its past, its present; its future?»,[7] tuvo oportunidad de difundir y defender el sistema que con tanto éxito estaba implantando en los Estados Unidos. El encuentro entre ambos arquitectos tendría consecuencias años más tarde, cuando Guastavino pidiera a Belmás que le representara en el Congreso que se celebraría en Madrid en 1904.

A partir de este congreso los textos de Guastavino conocieron una mayor difusión en España y empezaron a servir de fundamento para el análisis del comportamiento estructural de las bóvedas tabicadas. Sirvan de ejemplo los estudios aparecidos en el *Anuario* de la Asociación de Arquitectos de Cataluña, correspondiente a 1910 —dos años después de la muerte de Guastavino—: «Estructuras de ladrillo y hierro atirantado en la arquitectura catalana moderna»,[8] de Jerónimo Martorell, que se refiere abundantemente a la obra y pensamiento de Guastavino; y «La bóveda tabicada»,[9] de Jaime Bayó, que toma como punto de partida las teorías mecánicas de Guastavino.

Pero estas renovadas expectativas del uso de bóvedas tabicadas comienzan a decaer con la progresiva sistematización de las estructuras de hormigón armado y la apertura a nuevas formas arquitectónicas; sólo en momentos muy específicos se reparó en la ventaja económica que este procedimiento constructivo podía reportar: tal fue el caso del período de escasez de materiales en la postguerra, cuando aparecieron dos destacados textos —ambos en 1947— que retomaban con fuerza el legado de Guastavino: *La bóveda catalana*,[10] de Buenaventura Bassegoda, y —el ya citado— *Bóvedas tabicadas*,[11] de Luis Moya.

En paralelo al desarrollo de las bóvedas de Guastavino en América es destacable la evolución del sistema de bóvedas tabicadas modernas en España. A caballo del cambio de siglo, mientras en los Estados Unidos el Guastavino System se liga predominantemente a formas arquitectónicas historicistas y revival —reforzadas éstas con el espíritu de la Exposición de Chicago—, los arquitectos catalanes del Modernismo —formados ya en la nueva Escuela de Arquitectura de Barcelona— hacen de la renovada técnica de la bóveda tabicada un campo abierto a la más desprejuiciada innovación formal (con nombres de tan alto prestigio como Doménech i Montaner, Muncunill... y, por encima de todos, Antoni Gaudí).

Interesa al caso la secuencia —no suficientemente conocida— de la implantación y singular desarrollo del sistema de bóvedas tabicadas modernas en Madrid; secuencia acotada significativamente entre los nombres de dos arquitectos y grandes constructores: Juan Bautista Lázaro y Luis Moya. Aquél, el introductor y *propagandista* del procedimiento *a la catalana* en Madrid, a finales del XIX; y éste, el que lo retoma tras la Guerra Civil y —conociendo el fenómeno de las bóvedas de Guastavino en América— lo lleva a un sorprendente extremo que pertenece ya a la historia de la construcción española de este siglo.

Lázaro y la implantación en Madrid de la construcción *a la catalana*

Juan Bautista Lázaro de Diego (1849–1919, titulado en 1874) fue arquitecto destacado en la renovación de los usos constructivos que se operaron en el panorama madrileño de las últimas décadas del XIX;[12] desde una marcada defensa de la razón constructiva de la arquitectura —y por encima de su encasillamiento «neomedievalista»— se implicó especialmente en el debate forma-construcción del momento. Alguna de sus obras, de hecho, puede verse como uno de los ejemplos más claros, en Madrid, del estilo gótico racionalista; tal es el caso del exterior —en ladrillo— de la iglesia de Ntra. Sra. del Perpetuo Socorro, en la calle de Manuel Silvela. Lázaro, por otra parte, había sido discípulo de Juan de Madrazo, como es sabido uno de los más destacados seguidores de Viollet-le-Duc en nuestro país.

Lázaro, que —en sus muchas intervenciones como restaurador de importantes monumentos del Medioevo—[13] había alcanzado un profundo conocimiento de los oficios tradicionales, supo conjugar tradición constructiva e innovación, adquiriendo —y así fue reconocido entre sus contemporáneos— una sobresaliente condición de *constructor*.[14] En Madrid, donde levantó la mayor parte de su obra, fue el introductor de nuevas técnicas constructivas;[15] pero fundamentalmente interesan sus investigaciones en ladrillo,[16] en particular las bóvedas tabicadas.

Con motivo de las obras de la Exposición Universal de Barcelona de 1888 —en las que su compañero de carrera Domènech i Montaner tenía importante participación—[17] realizó Lázaro una estancia en esta ciudad, lo cual sería decisivo para su carrera profesional así como para el inmediato devenir de los usos constructivos madrileños; en Barcelona conoció la práctica de bóvedas tabicadas y el innovador sistema constructivo

que luego sería llamado —desde Madrid— «a la catalana».[18]

Ya en Madrid, y con la ayuda de algunos maestros albañiles que había traído de Cataluña, transformó por completo los métodos tradicionales, operando una «verdadera revolución en el arte de construir madrileño».[19] Así, Cabello y Lapiedra —en los comienzos del XX— señalaba:

> Lázaro, como constructor, ha sido el que de una manera más franca y decidida rompió con las rutinarias prácticas arraigadas entre nosotros, aboliendo los entramados e introduciendo la fábrica de ladrillo en las construcciones como estructura principal combinada con el hierro, [...] y adoptando como sistema el aparejo llamado catalán, que él implantó en la corte.[20]

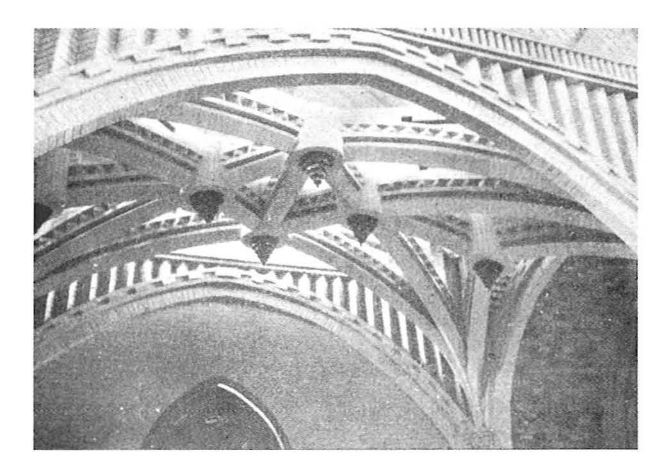
A este respecto resulta significativo cotejar las memorias constructivas de dos de sus proyectos para casas de pisos en Madrid, inmediatos anterior y posterior a la toma de contacto con los constructores catalanes, que describen de modo palmario el abandono del sistema tradicional madrileño (de grandes espesores, combustible y atacable por humedades e insectos) por la construcción *catalana* (ligera y de materiales duros). En la primera aún mantiene «(...) fábrica de ladrillo recocho en sus muros de carga, entramados los interiores, suelos de maderos forjados con botes de barro, armadura de par y picadero, (...)»;[21] en tanto que en la segunda ya prevé que «(...) tanto las traviesas interiores de carga como los tabiques divisorios serán de fábrica sin entramar y en los pisos y armaduras se emplearán viguetas de hierro laminado forjando con bovedillas tabicadas».[22]

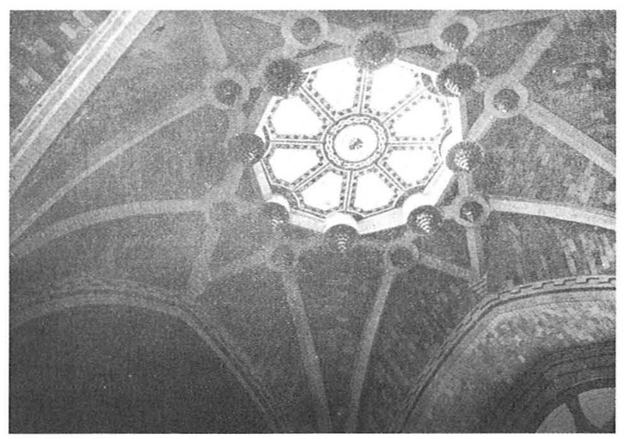
Pero no es la práctica de los *revoltones* [23] que Lázaro empezara a imponer en las casas de pisos en Madrid lo que más interesa al caso: su múltiple trabajo en arquitectura religiosa[24] le posibilitó una dilatada y singularísima línea investigadora en torno a las bóvedas tabicadas. Interesa muy particularmente destacar el punto de inflexión que —con la introducción de abovedamientos ligeros a base de rasilla hueca— marcó en la arquitectura madrileña en ladrillo, constituyendo en este material una estructura coherente entre bóvedas y paredes de carga. Lázaro desarrolló con rapidez la técnica de las bóvedas tabicadas (que —como superficies continuas y homogéneas, una vez fraguadas— entendía diferentes en su comportamiento de las que dependen de la estereotomía de sus elementos); y consiguió, con un aprovechamiento total de la estructura, unos muy reducidos espesores de bóveda. En sus grandes iglesias madrileñas —Perpetuo Socorro (1892–1897), Reparadoras (1897–1901), San Vicente de Paúl (1900–1904), la desaparecida de las Hijas de la Caridad (1906–1910)— puede seguirse la constante experimentación con delgadas bóvedas tabicadas.[25]

Los inopinados logros técnicos de sus bóvedas de rasilla serían, sin embargo y en un primer estadio, ocultados por el revestimiento del obligado lenguaje neomedievalista. El afán de racionalidad constructiva de Lázaro, que, por otra parte, quedaba bien de manifiesto en los exteriores de sus iglesias, parecía quedar comprometido o, cuando menos, velado en los interiores de las mismas. La innovadora técnica constructiva, con alta maestría en el oficio de albañilería —presentando unos magníficos acabados–, reclamaba ser *revelada*[26] y no jarreada con estucos que imitaban despieces de sillería.

Así no tardaría Lázaro en alcanzar las últimas consecuencias de la aventura constructiva que había emprendido, logrando el acuerdo final entre forma y estructura: en la capilla del asilo de San Diego y San Nicolás (1903–1907) (Figuras 1 y 2) las bóvedas tabicadas y los elementos estructurales no se ocultan ya con revestimientos interiores; aquí llega Lázaro a exhibir, persiguiendo el «mejoramiento racional de la construcción», la lógica explícita de la técnica del ladrillo.

Más allá del aparente «neomudejarismo», el juego del material visto de las bóvedas —nervadas y, en algún





Figuras 1 y 2
J. B. Lázaro. Asilo de San Diego y San Nicolás (1903–1907). Detalles de las fábricas vistas del interior de la capilla

caso, caladas— alcanzó en esta obra un raro virtuosismo en el manejo del material, coronando el largo proceso de perfeccionamiento llevado a cabo por Lázaro: un salto definitivo en la evolución —iniciada décadas antes por Rodríguez Ayuso— de la arquitectura madrileña en ladrillo. Habrían de pasar muchos años para que otro arquitecto —Luis Moya— retomara, con renovado ímpetu e intuición constructiva, sus enseñanzas: tras la desaparición de Lázaro[27] sus discípulos continuarían muchas de las líneas avanzadas por el maestro, pero no la que impulsaba la experimentación con bóvedas tabicadas, cuyo vigor inicial se fue extinguiendo en paralelo al rápido crecer de la nueva técnica del hormigón armado.

Sin embargo, hay que notar que sí persistió —pudiéramos decir que por vía subyacente— el oficio adquirido por los albañiles madrileños. El éxito del sistema implantado por Lázaro en Madrid había requerido con rapidez una mano de obra especializada, así los maestros albañiles venidos de Cataluña tuvieron que formar a muchos jóvenes aprendices, que pronto alcanzaron una singular maestría de oficio que pervivió mucho tiempo en el ámbito madrileño.[28]

Esta calidad alcanzada en el oficio de albañilería no se aprovecharía enteramente hasta que, en los años que siguieron a la Guerra Civil, la escasez de hierro y cemento —que hacía especialmente costoso el hormigón armado— favoreció que muchos arquitectos volvieran la vista a las prácticas tradicionales. De entre ellos caso absolutamente singular es Luis Moya, que —lejos de adaptarse con displicencia a las obligadas restricciones del momento— se entregó con verdadera fruición a la práctica del sistema de bóvedas tabicadas, ampliando su uso e investigación más allá de la penuria económica de la postguerra.[29]

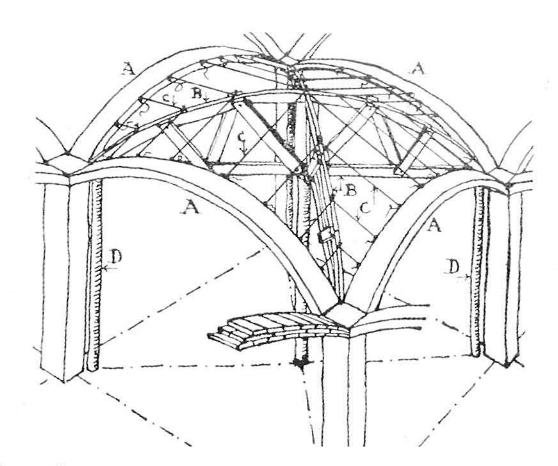


Figura 3
L. Moya. Preparación para construir una bóveda por arista peraltada (*Bóvedas tabicadas*)

La construcción en los años de la autarquía y la singular figura de Luis Moya

La producción arquitectónica más significativa de Luis Moya Blanco (1904–1990, titulado en 1927) es la que —abarcando los años cuarenta y cincuenta— yuxtapone la semántica del lenguaje clásico a la tectónica de los sistemas abovedados.[30] La recuperación del uso de bóvedas tabicadas que emprende Moya se entiende no sólo desde los condicionantes económicos de aquellos años sino también, y muy expresivamente, desde su declarada opción por una idea de arquitectura que —separadamente a los derroteros seguidos por el Movimiento Moderno— fuera capaz de reforzar el vínculo entre forma y construcción, tal y como se produce en el sistema abovedado. Las primeras conclusiones de la experiencia conseguida quedarían registradas tempranamente en su ya célebre tratado *Bóvedas tabicadas* (Fig. 3), publicado por la Dirección General de Arquitectura en 1947; este estudio fue un revulsivo en el panorama arquitectónico del momento, y a él se deben muchas construcciones llevadas a cabo por este sistema en Madrid.[31]

El conjunto de viviendas en hilera (Fig. 4) que construyó para la Dirección General de Arquitectura en 1942, en el barrio madrileño de Usera, constituyó un auténtico prototipo en el que pudo experimentar las ventajas del sistema de bóvedas tabicadas. El bloque está constituido por doce bóvedas iguales —cilíndricas rebajadas— en la planta baja, y otras doce iguales —de generatriz inclinada— en la superior;[32] el experimento dio buena cuenta de lo rentable de adosar un cierto número de bóvedas iguales —que contrarrestan sus empujes entre sí— y limitar los siempre costosos contrafuertes a los

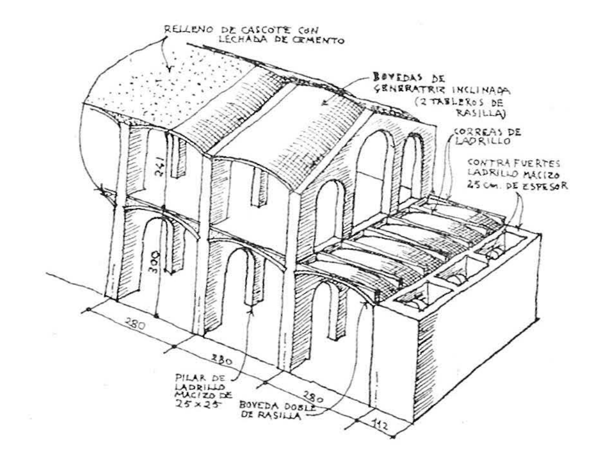


Figura 4
L. Moya. Casas en el barrio de Usera (1942): esquema constructivo del sistema de bóvedas cilíndricas que se contrarrestan entre sí hasta los contrafuertes extremos

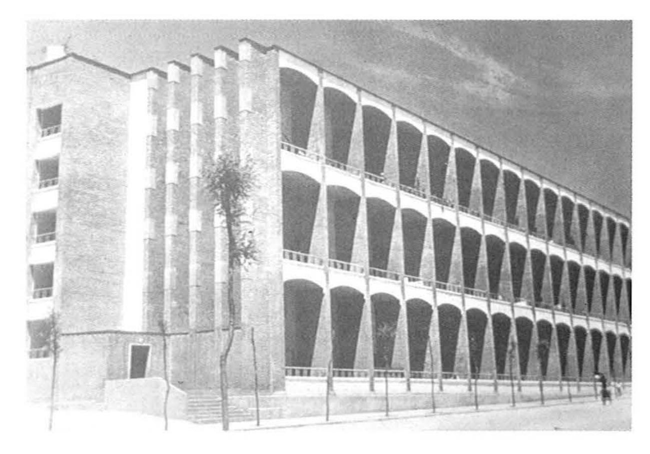


Figura 5
F. Asís Cabrero. Bloque de viviendas en Madrid (1949): vista exterior de las bóvedas tabicadas

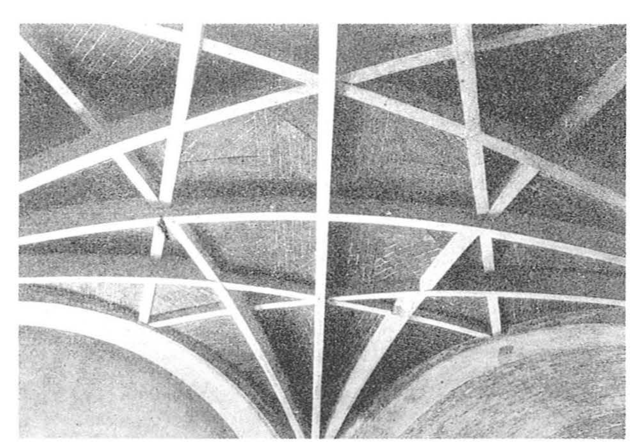


Figura 7
L. Moya y L. M. Feduchi. Museo de América (1944): bóveda tabicada sobre arcos cruzados

extremos del bloque, sin empleo de tirantes metálicos o de madera. Este esquema constructivo, que consigue una total conexión entre la forma arquitectónica y su estructura, es el antecedente directo del conocido bloque de viviendas dúplex construido en Madrid (Fig. 5) por Francisco de Asís Cabrero (1948–1949).[33]

La construcción en esos mismos años del Museo de América —por Moya y Luis Feduchi— adquirió un carácter emblemático en cuanto al uso de las bóvedas tabicadas: no era ya el «experimento» de Usera; se trataba de un gran edificio de nueva planta —en la Ciudad Universitaria— en el que se empleaba sistemáticamente este *nuevo* procedimiento constructivo. La complejidad del proyecto permitió que Moya prosiguiera sus investigaciones acerca de una gran variedad de abovedamientos,[34] que supuso todo un alarde en la recuperación del oficio de albañilería al que nos hemos referido (la excelente mano de obra de albañilería todavía existente en Madrid posibilitó que la experiencia fuera un éxito, consiguiéndose unos impecables intradoses en que la rasilla —en muchos casos— se dejaba vista con magnífico resultado) (Figs. 6, 7 y 8). Particularmente, y por lo que luego supondría en posteriores obras de Moya, son de destacar las bóvedas de arcos cruzados que emplea como refuerzo en los casos en que hay que sustentar pesadas cargas. Si la justificación que ofrece del empleo de las bóvedas tabicadas es argumentada desde la economía de costes,[35] no se nos oculta que Moya, por otra parte, se siente atraído por los sistemas abovedados desde consideraciones muy otras.[36]

Con análogas intenciones experimentales que en el Museo de América, lleva a cabo la construcción del

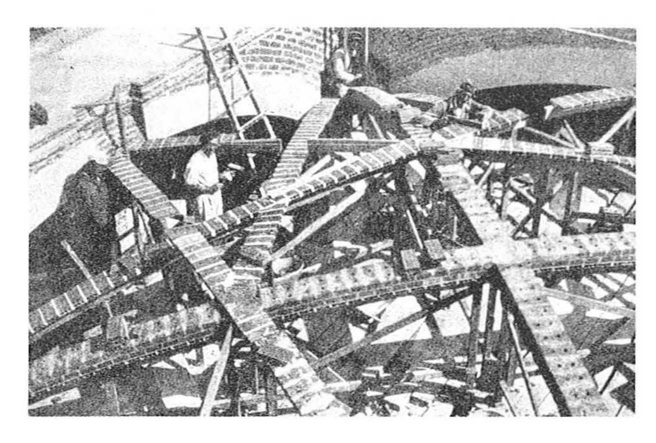


Figura 6
L. Moya y L. M. Feduchi. Museo de América (1944): proceso constructivo de una bóveda de arcos cruzados (los arcos son de ladrillo macizo sobre una primera vuelta de rasilla: ésta refuerza a las cimbras, que son muy ligeras)

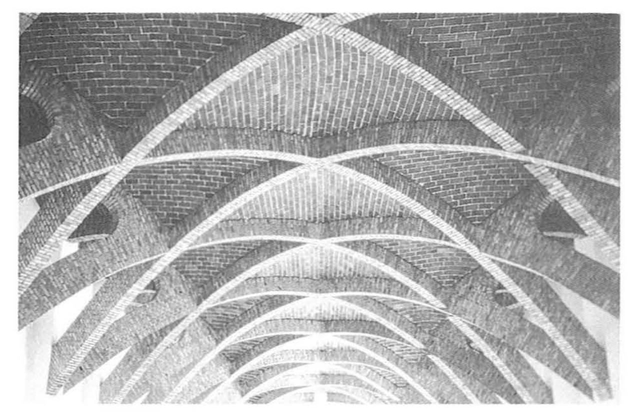


Figura 8
L. Moya y L. M. Feduchi. Museo de América (1944): vista de la sala principal

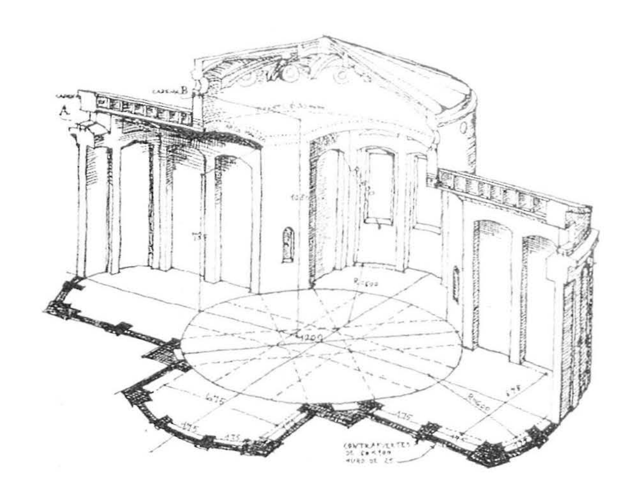


Figura 9
L. Moya. Escolasticado marianista de Carabanchel (1942–1944): esquema constructivo de la capilla

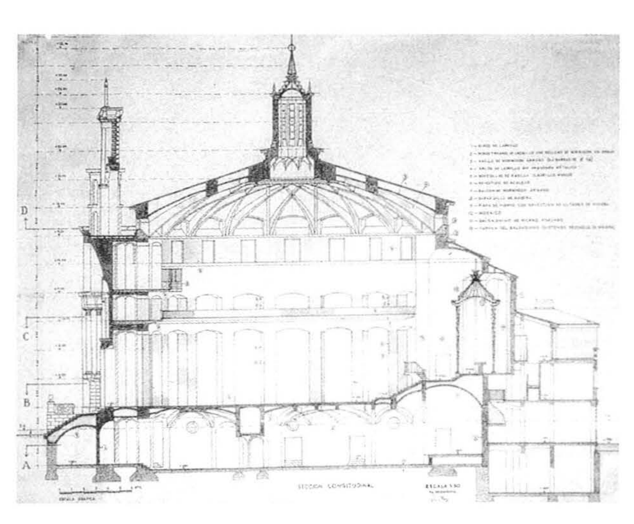


Figura 11
L. Moya. Iglesia de San Agustín (1947): sección longitudinal

Escolasticado de los Marianistas en Carabanchel (1942–1944). El uso de bóvedas tabicadas, generalizado en todo el edificio, tiene especial interés en la capilla (Fig. 9), de planta de cruz griega y con cúpula de arcos cruzados, de 12 m de diámetro.[37] Esta bóveda nervada inaugura la serie de grandes cúpulas de arcos cruzados que levantaría Moya, cúpulas cuya razón de ser se arraiga en la rica tradición de la arquitectura hispano-musulmana.[38]

La cúpula de la iglesia de San Agustín (1945–1951), en la calle de Joaquín Costa, perfecciona el tipo tanteado en Carabanchel y es de trascendencia en la trayectoria de Moya. Es una gran bóveda de planta elíptica[39] constituida —también al modo hispano-musulmán— por diez pares de arcos paralelos, que actúan como necesario refuerzo del gran linternón central (Figs. 10, 11 y 12).[40] Aquí la experimentación del sistema de bóvedas tabicadas llevada a cabo por Moya define la constitución de un tipo constructivo que —con muy escasos medios— imbrica perfectamente cualidad espacial y estructura; y que —en su aspecto técnico— causaría un asombro y un reconocimiento no limitados al panorama de lo nacional. A partir de este tipo levantaría Moya, fuera de Madrid, las espectaculares cúpulas tabicadas sobre arcos cruzados, también en planta elíptica, de las Universidades Laborales de Gijón (1947–1956) y Zamora (1947–1953) y de la iglesia de Torrelavega (1956–1962) (Fig. 13).[41]

El abandono del lenguaje formal clásico que experimentó su arquitectura en torno a los años sesenta posibilitó que, rompiendo el esquema constructivo de cúpula —hasta aquí evolucionado por Moya con despejo—, emprendiera muy diferentes caminos —la etapa moderna— en que, sin embargo, no abandonaría la práctica de

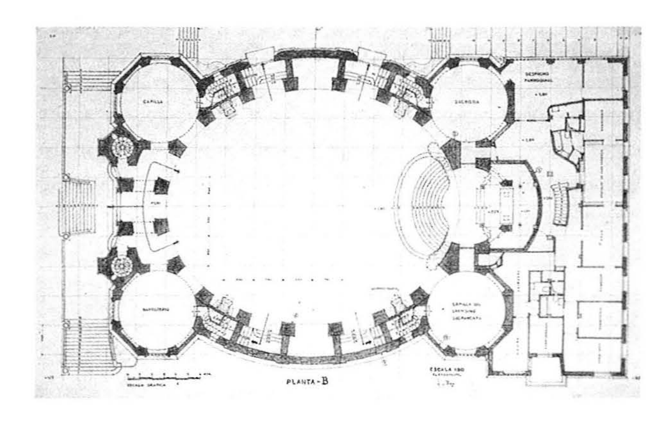


Figura 10
L. Moya. Iglesia de San Agustín (1947): planta

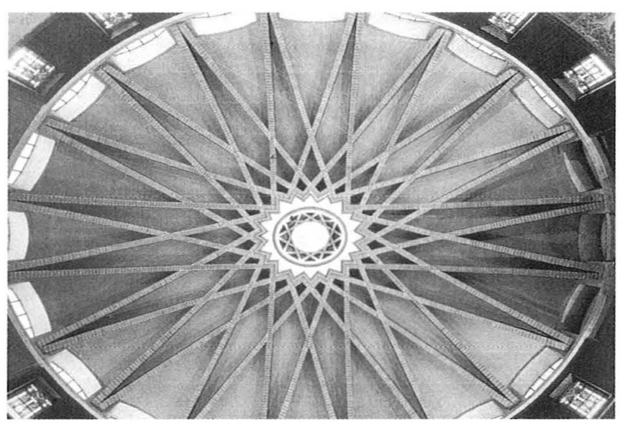


Figura 12
L. Moya. Iglesia de San Agustín (1947): vista de la cúpula

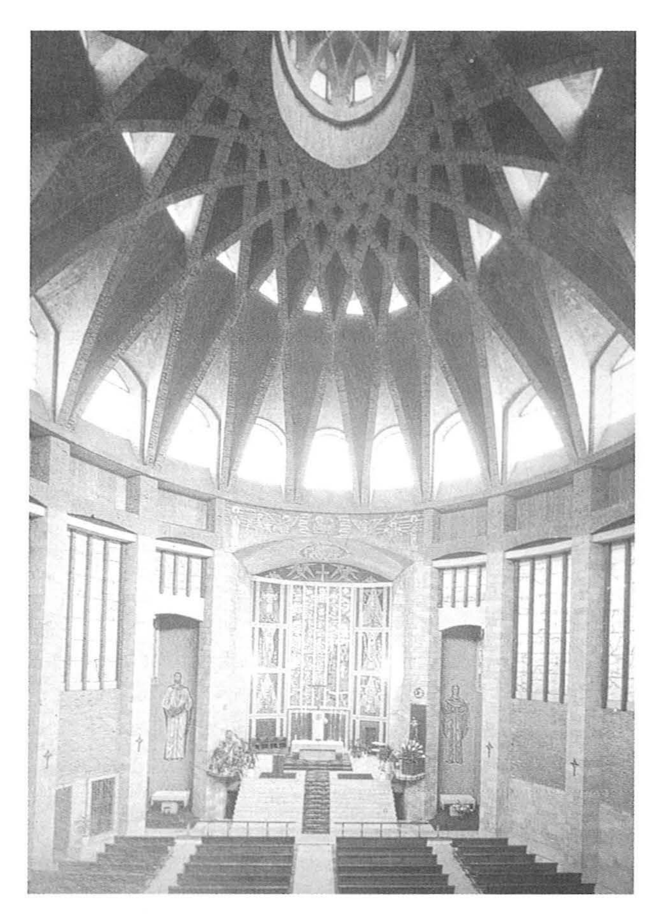


Figura 13
L. Moya. Iglesia de Torrelavega (1956–1962): cúpula elíptica de arcos cruzados

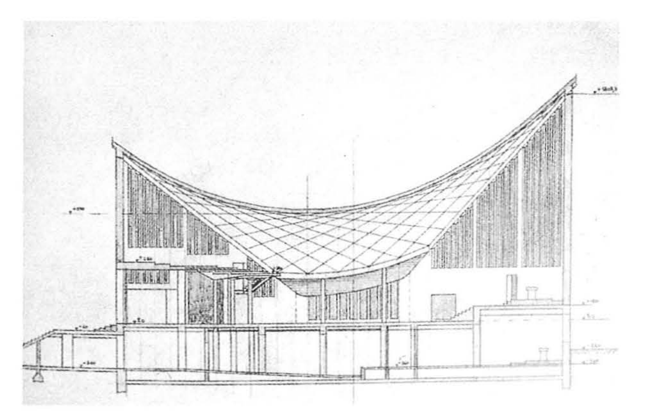


Figura 14
L. Moya y J. A. Domínguez Salazar. Iglesia de Santa María del Pilar (1963–1965): sección longitudinal

las bóvedas tabicadas. La iglesia de Santa María del Pilar (1963–1965), en el barrio del Niño Jesús, principia esa etapa (Figs. 14 y 15);[42] la nueva concepción del espacio litúrgico se acompaña de un renovado uso de la bóveda tabicada: bajo la influencia de las bóvedas-membrana de hormigón armado construye un gran paraboloide reglado que unifica una planta de forma octogonal y define por entero el espacio.[43] Con este ejercicio —«culminación de un proceso de investigación y dominio en las técnicas constructivas de las bóvedas de membrana con materiales cerámicos»— consiguió Moya —con construcción muy sencilla— una limpia conjunción de métodos modernos —derivados de la técnica del hormigón armado— con el oficio tradicional de albañilería.[44]

La fidelidad de Moya al sistema de bóvedas tabicadas supuso que, entrando ya en la década de los sesenta (en condiciones muy otras a las que determinaran su uso en la postguerra) prosiguiera en su investigación, con nuevos resultados. En la iglesia de Santa María Madre de la Iglesia (1966–1969), en Carabanchel, realizó un postrer y notable ejercicio con bóvedas tabicadas. La cúpula, retomando la planta circular —con 24 m de diámetro—, está constituida por casquete esférico de cuatro tableros de rasilla; se construyó económicamente mediante una ligera guía metálica giratoria afectando la forma del arco meridiano,[45] siendo el resultado final —en que el intradós queda visto e iluminado por linterna— de una admirable tersura (Figs. 16, 17, 18, 19 y 20). Con esta cúpula Moya —ya en los últimos años de su larga carrera— sigue interesado en demostrar —haciendo abstracción de lenguajes aplicados— la validez actual de este sistema constructivo: según apreció una comisión del Instituto Eduardo Torroja y técnicos norteamericanos durante la construcción,[46] la sencillez del procedimiento consiguió rebajar su coste a menos de la tercera parte de la equivalente bóveda membrana en hormigón armado.

Entre esta cúpula y la que en este mismo recinto del Escolasticado de Carabanchel había levantado Moya, al

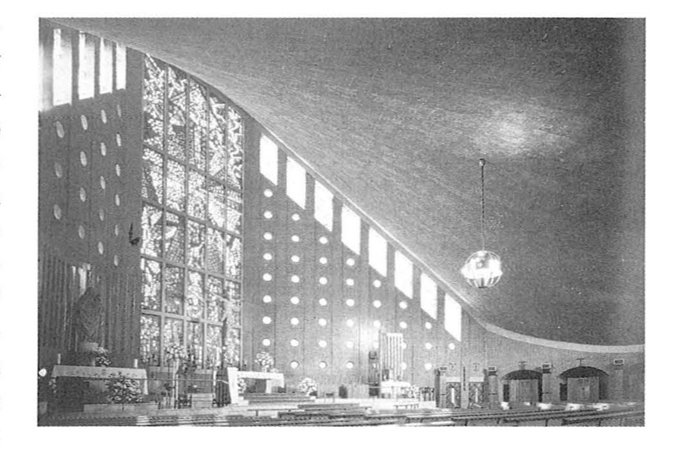


Figura 15
L. Moya y J. A. Domínguez Salazar. Iglesia de Santa María del Pilar (1963–1965): aspecto del intradós de la bóveda, con la rasilla vista

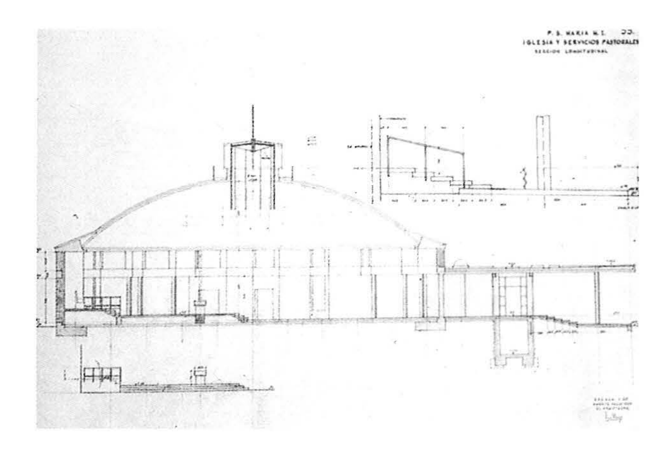


Figura 16
L. Moya. Iglesia de Santa María Madre de la Iglesia (1966–1969): sección



Figura 19
L. Moya. Iglesia de Santa María Madre de la Iglesia (1966–1969): acabado del intradós con la rasilla vista

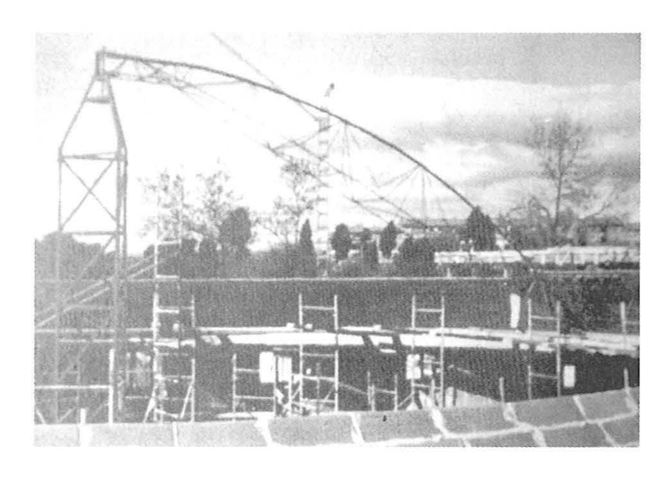


Figura 17
L. Moya. Iglesia de Santa María Madre de la Iglesia (1966–1969): proceso de ejecución de la cúpula: guía giratoria que define el meridiano generador

inicio de su carrera, quedan comprendidos veinticinco años de búsquedas en torno a las bóvedas tabicadas; por encima de las aparentes diferencias del lenguaje formal entre ambas queda registrado el invariante argumento *constructor* de su arquitectura: ésta —como ha apuntado Fernández Alba— se nos explica como desarrollo lógico «de una *construcción uniforme*, sin otra variación que los adjetivos que interpone el tiempo sobre el espacio».[47]

Notas

1. Por entonces Guastavino hijo ya había vendido sus participaciones en la Guastavino Company (1943); a la compañía le quedaban todavía quince años de vida.
2. Rafael Guastavino Moreno, *The function of masonry in modern architectural structures*. Boston: American Prin-



Figura 18
L. Moya. Iglesia de Santa María Madre de la Iglesia (1966–1969): detalle de la formación de la primera vuelta de rasilla, apoyándose en la guía



Figura 20
L. Moya. Iglesia de Santa María Madre de la Iglesia (1966–1969): vista del intradós terminado

ting Co., 1904. También traducido: «Funtion de la maçonnerie dans les constructions modernes» en *Congrès international des architectes, Madrid, 1904*. Madrid: Sastre,1906, 337–360.
3. Este *Álbum*, más tarde, llegaría a ser propiedad de Luis Moya, quien, a su vez lo entregaría —ya liquidada la Guastavino Company— al profesor Collins de la Universidad de Columbia.
4. José Ramón Alonso Pereira, *Ingleses y españoles. La arquitectura de la Edad de Plata*. Universidad de La Coruña, 2000, 41.
5. Guastavino exponía con este trabajo las ventajas de su sistema de construcción resistente al fuego, aplicándolo a la busca de salubridad en las ciudades y sus rápidos procesos de crecimiento industrial; lo envió cuando la opinión pública norteamericana —aún bajo la impresión del incendio que en 1871 casi había arrasado la ciudad de Chicago— mostraba una especial sensibilidad por las condiciones de seguridad de las ciudades (que, tras la Guerra de Secesión, estaban conociendo un importante crecimiento).
6. Mariano Belmás, *Comparación entre España y los Estados Unidos*. Madrid: imp. M. Velasco, 1894.
7. R. Guastavino, «The cohesive construction. Its past, its present; its future?» *American Architect and Building News*, 41, 922 (26 agosto 1893): 125–129.
8. Jerónimo Martorell, «Estructuras de ladrillo y hierro atirantado en la arquitectura catalana moderna» *Anuario. Asociación de Arquitectos de Cataluña* (1910): 119–146.
9. Jaime Bayó, «La bóveda tabicada», *Anuario. Asociación de Arquitectos de Cataluña* (1910): 157–184.
10. Buenaventura Bassegoda, *La bóveda catalana*, Barcelona, 1946.
11. Luis Moya Blanco, *Bóvedas tabicadas*, Madrid: Dirección General de Arquitectura, 1947.
12. Acerca de la importancia de Lázaro en el panorama arquitectónico del momento puede verse Pedro Navascués, «Arquitectura y arquitectos madrileños del siglo XIX», *Instituto de Estudios Madrileños*, Madrid (1973): 221–227; Adolfo González Amezqueta, «Medievalismo en ladrillo» *Arquitectura* 125, Madrid (mayo 1969): 40–43; Javier García-Gutiérrez Mosteiro, «La obra arquitectónica de Juan Bautista Lázaro» *Academia* 74, Madrid (1er. sem. 1992): 445–498.
13. La carrera de Lázaro está marcada desde su comienzo por un intenso quehacer en la conservación del patrimonio arquitectónico; de entre todas estas intervenciones la más conocida fue la de culminar la larga restauración de la catedral de León, cuyas obras dirigió sucediendo a Demetrio de los Ríos.
Hay que notar el singular empeño de Lázaro en la tarea de recuperar los oficios tradicionales —incluso en su estructura social de aprendizaje—; caso verdaderamente remarcable es el taller que organizó en las obras de la catedral de León (véase J. García-Gutiérrez Mosteiro y Eloy Minguito Lobos, «El taller de Juan Bautista Lázaro para la restauración de las vidrieras de la catedral de León» *Actas del congreso de Medievalismo y neomedievalismo en la arquitectura española: Las catedrales de Castilla y León I*, Ávila: Fundación Cultural Santa Teresa, 1994, 207–220).
14. Entre otros testimonios recogemos este de Repullés: «[...] precisamente a la vez que realizaba estas difíciles restauraciones de lo viejo, empleando en ellas las prácticas y procedimientos de la época correspondiente a cada edificio, era uno de los paladines y más constantes mantenedores de los modernos procedimientos constructivos» (Enrique María Repullés, «Necrología de Juan Bautista Lázaro» *Boletín de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando* 52 Madrid (1919): 257–263); por otra parte, el propio Lázaro —al final ya de su carrera profesional— reconocía: «[...] mi particular vocación, la cual me ha impulsado siempre a cultivar con preferencia la parte que se refiere a la estructura de las obras arquitectónicas, [...]» (J. B. Lázaro, «Discurso del Excmo. Sr. D. Juan Bautista Lázaro» *Discursos leídos ante la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando en la recepción pública del Excmo. Señor D. Juan Bautista Lázaro el día 16 de Diciembre de 1906*, Madrid: R.A.B.A.S.F., (1906): 3–30; 7).
15. Tal es el caso de las bóvedas sobre aristones metálicos del hoy desaparecido convento del Beato Orozco; en este edificio, como ha apuntado Navascués, tanto el claustro como la iglesia se cubrían —con bóvedas nervadas— de modo innovador: por primera vez en Madrid —y acaso en España— se utilizaba el hierro en la crucería de las bóvedas, sustentándose la cubierta sin interposición de armadura (P.Navascués, «Arquitectura y arquitectos madrileños del siglo XIX», 225).
16. Las primeras obras de Lázaro en Madrid (en torno a 1880) ya denotan un particular uso *estructural* —no meramente formal o «estilístico»— del ladrillo; su clara opción por una construcción «francamente revelada» era llevada —según Repullés— «hasta un extremo que quizá no sea del gusto de todos, pues de ella resulta el estilo del monumento no muy en armonía con las ideas corrientes» (E. M. Repullés, «Panteón de familia construido en el cementerio de San Isidro de Madrid bajo la dirección del arquitecto don Juan Bautista Lázaro», *Anales de la Construcción y de la Industria* 21, Madrid (nov. 1881): 321–323; 322).
17. Lázaro había sido compañero de estudios, en la Escuela de Madrid, de Lluis Domènech i Montaner, quien estaba construyendo el edificio del restaurante de la Exposición. En ambos arquitectos —por lo demás tan diferentes— se pueden encontrar algunos aspectos comunes; cabe remitirse a la práctica de bóvedas tabicadas llevada a cabo por Domènech, siendo de destacar las que construye en el Hospital de San Pablo de Barcelona, proyectado en 1901.
18. Lázaro ya en su primeros años de profesión, como arquitecto municipal de Ávila, había alcanzado un profundo conocimiento de la construcción en ladrillo.
19. Eladio Laredo, «Asilo de San Diego; paseo del Cisne, Madrid» *Pequeñas Monografías de Arte y Arquitectura,* Madrid (1908): 1–16; 2.
20. Luis María Cabello y Lapiedra, «Recepción pública del Excmo. Sr. D. Juan Bautista Lázaro de Diego, arquitecto, en la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando»

Arquitectura y Construcción 174, Barcelona (enero 1907): 8–23; 8. Por otra parte, en cuanto al empeño de Lázaro, cabe notar que Lampérez le consideraba no sólo implantador en Madrid del sistema *a la catalana* sino *propagandista* del mismo (Vicente Lampérez, «Crónica», *Resumen de arquitectura,* Madrid (dic. 1898): 107–108; 107).

21. Edificio en la calle de Ortega y Gasset con vuelta a Claudio Coello (1883), (A.S.A. 6–166–82).
22. Edificio en la calle de Juan de Mena con vuelta a Alfonso XI (1889), (A.S.A. 8–14–25).
23. Los *revoltons* catalanes; esto es, la bovedilla de rasilla —por lo general de una hoja— tendida entre dos viguetas metálicas.
24. Desde los comienzos de su carrera profesional (que coincide con la restauración alfonsina y el subsiguiente resurgir de la Iglesia) Lázaro había conseguido importantes encargos de arquitectura religiosa.
25. De la capilla del colegio de las Ursulinas (1889–1898) tomamos la descripción que hizo Lampérez: «[...] las bóvedas de simple crucería, cuya nervatura toda está construida con sólo tres *alfas* o tabicados de ladrillo hueco sentado con yeso puro y dispuestas de modo que su sección transversal es en forma de trapecio. La plementería se compone de un solo tabicado de ladrillo hueco con yeso puro» (V. Lampérez, «Crónica», 107).
26. Cabe traer al caso una reseña que en 1899 escribió Lampérez acerca de las bóvedas tabicadas que Lázaro estaba construyendo en la iglesia de las Reparadoras; en ella, constatando la transformación que estaba imponiendo Lázaro en lo constructivo, le anima a exhibir descarnadas sus innovadoras estructuras:
«Lo interesante de este edificio es su construcción. El sistema llamado *a la catalana* es el que allí impera. [...] Los espesores de pilares y muros son reducidísimos; los vanos de arcos tan grandes como pequeños los tizones de sus *alfas.* [...] La mano de obra es perfecta. [...] Esto nos sugiere algunas reflexiones, que apuntaremos aquí. Si el sistema *a la catalana* lleva en su estructura la razón de su solidez; si las *alfas* son monolitos en los que el material no actúa por su forma mecánica, sino por la cohesión; si las *cadenas* de los muros son las que coadyuvan al equilibrio, estableciendo igualdad de asientos; si todo esto y otras cosas más son la base y el fundamento de la construcción ¿por qué ocultar la estructura con estucos y postizos? ¿qué papel van a desempeñar esos capiteles *agregados* y esas dovelas *fingidas*, imitación de otro sistema opuesto al moderno? ¿Por qué no acometer resueltamente la revolución, [...]?» (V. Lampérez, «Crónica», *Resumen de arquitectura,* 31).
27. Apartado de la profesión, por enfermedad, en 1908.
28. L. Moya, «La arquitectura madrileña en el primer tercio del siglo XX» *Atlántida* 2, Madrid (1990): 20–36; 28.
29. Como explica Moya, también en los años de la Primera Guerra Mundial, en similar coyuntura económica, hubo un tímido intento de recuperación del uso de las bóvedas tabicadas; y remarca la experiencia emprendida por su tío Juan Moya Idígoras (L. Moya, «Arquitecturas cupuliformes: el arco, la bóveda y la cúpula», *en* AAVV, *Curso de mecánica y tecnología de los edificios antiguos*, Madrid: COAM, 1987, 97–119; 112; véase «Homenaje a la memoria de D. Juan Moya, figura señera de la Arquitectura española», *Construcción* 36, Madrid (oct-dic 1953): 7–9; 8).
Como curiosa coincidencia es de notar que Lázaro, Juan Moya y Luis Moya se sucedieron correlativamente —con la medalla número 38— como académicos de la Real de Bellas Artes de San Fernando.
30. Acerca de la figura de Moya puede verse Antón Capitel, *La arquitectura de Luis Moya Blanco*, Madrid: COAM, 1982; *Cuaderno de apuntes de construcción de Luis Moya (curso 1924–1925)*, ed. a cargo de J. García-Gutiérrez Mosteiro, Madrid: Instituto Juan de Herrera, 1993; y A. Capitel y J. G. Mosteiro, *Luis Moya Blanco. Arquitecto. 1904–1990*, Madrid: Electa, 2000.
31. Por otra parte, junto al claro interés de Moya por la construcción abovedada conviene notar que sus primeras actuaciones profesionales, hasta la postguerra, muestran un explícito —a veces, espectacular— compromiso con el entonces todavía «nuevo» material del hormigón armado (Faro de Colón, *Sueño arquitectónico...*).
32. Tanto las bóvedas inferiores como las superiores, de 2,50 m de luz real, están constituidas por dos hojas de rasilla.
33. Simultáneamente, en las obras de reconstrucción del hospital de la Mutual del Clero y de la aneja iglesia de los Dolores (1941–1945), en la calle de San Bernardo, tuvo la oportunidad de enfrentarse a un singular ejercicio con bóvedas tabicadas. El edificio había resultado muy dañado en los años de la guerra, manteniendo sólo las paredes de carga y siendo necesario recuperar todas las techumbres; el hecho de la diversidad e irregularidad de espacios a cubrir permitió a Moya ejercitarse en un amplio repertorio de superficies, y entre ellas el tema central que desarrollaría recurrentemente a lo largo de su carrera: la cúpula.
34. Entre otras: bóvedas cilíndricas, por arista, de arcos cruzados (en algún caso con arcos de sólo medio pie de ancho), vaídas...
35. Así, por ejemplo, defiende explícitamente cómo con este sistema se emplea sólo un 5% del hierro que emplearía una estructura convencional.
36. Naturalmente —abundando en lo anteriormente apuntado— se entiende la querencia de Moya por el sistema abovedado, en el que el problema de empujes organiza todo un sistema constructivo, donde la cuestión estriba prioritariamente en el problema de la estabilidad y no en el de la resistencia de materiales.
37. Las bóvedas de los brazos son cilíndricas rebajadas, constituidas por cuatro hojas de rasilla. La cúpula está formada por cuatro pares de arcos de un pie de ancho: los cuatro arcos que cargan en los machones son de ladrillo macizo (2 vueltas de rasilla más 5 de macizo); los otros cuatro, que cargan sobre las bóvedas, son de ladrillo hueco. La plementería que apoya en los arcos es de tres hojas de rasilla formando bóvedas cilíndricas con apertura de lunetos en el perímetro. El conjunto de las bóvedas conlleva un sistema de atirantado oculto que complementa al desempeñado por los contrafuertes de fábrica.

38. «Si partimos de las cúpulas pequeñas, pero llenas de significado, de la Mezquita de Córdoba —tiene escrito Chueca— podemos encontrar el antecedente más arcaico de estas cúpulas de Moya que él desarrolló en grandes y monumentales dimensiones» (F. Chueca Goitia, «El gran arquitecto Luis Moya Blanco» *Academia* 70, Madrid (primer semestre 1990): 29–34; 31). Para Moya la gran ventaja de los arcos que se cruzan es claramente demostrable desde lo constructivo: los arcos son enteros sin el inconveniente de hacer converger todos las acciones en el centro de la cúpula; cada arco es cruzado por todos los demás, menos por su paralelo, con lo que se consigue que en caso de que haya un punto de fracaso se asimile éste por los demás (L. Moya, «Arquitecturas cupuliformes», 118).
39. Son sus dimensiones: eje mayor de 24 m, eje menor de 19 m y flecha de 4,80 m.
40. Colaboró con Moya, para el cálculo de esta bóveda, el arquitecto Manuel Thomas. Los arcos son de un pie de ancho y están constituidos por una vuelta de rasilla con yeso (que refuerza la leve cimbra) y nueve roscas de ladrillo macizo, tomado con cemento. Los empujes se contrarrestan con un zuncho perimetral.
Moya se refería a la imprevista comprobación de la *flexibilidad* de este tipo de bóvedas: antes de construir la gran linterna central los arcos empezaron a trabajar independientemente de la cimbra, elevándose la clave nada menos que 5 cm; conforme se fue levantando la linterna la clave fue descendiendo hasta la posición inicial sin apreciarse ningún tipo de fisura.
41. Debido a la impresión que causó la bóveda nervada de San Agustín —según Moya comentó en una entrevista a quien esto escribe— estos nuevos encargos venían con la exigencia de la propiedad de que las cúpulas se hicieran «con arcos cruzados».
42. Véase L. Moya y J.A. Domínguez Salazar, «Capilla del colegio de Santa María del Pilar. Madrid» *Informes de la Construcción* 173, Madrid (agosto-septiembre 1965): 49–61.
43. Esta iglesia —que «es, sobre todo, cubierta»— es de planta en forma de octógono irregular —de 744 m^2— y se cubre con un paraboloide hiperbólico, de manera que el perímetro de la superficie queda comentado por cuatro tramos rectilíneos y cuatro tramos parabólicos. El hecho de ser tabicada supuso un gran abaratamiento al evitar el alto coste de los encofrados que las membranas de hormigón exigen.
44. La construcción fue muy rápida, con reducido número de albañiles y de materiales. Al estar generada por rectas, se dispusieron guías de madera cada 60 cm, según una de las dos familias de generatrices, sobre los que se tendió la primera hoja de rasilla, cogida con yeso; ésta —con un excelente efecto— queda a la vista. Sobre esta primera hoja se dispuso una capa de 3 cm de mortero de cemento con los redondos de tracción —materializando una serie de generatrices rectas y anclados en el zuncho perimetral de hormigón— y dos tableros de rasilla cogidos con cemento; en total tiene un espesor de 14 cm. Colaboró en el cálculo de la bóveda el arquitecto Luis García Amorena.
45. La marcha de la construcción es elemental: al ser la planta circular, en el centro se dispuso un vástago sobre el que se apoya una muy leve guía; el extremo de ésta se va deslizando en el zuncho perimetral y generando la primera rosca.
46. L Moya: «Arquitecturas cupuliformes», 114.
47. Antonio Fernández Alba, «Luis Moya Blanco. Maestro en el recuerdo»

Arte y técnica de la construcción tabicada

Ricardo Gulli

La construcción tabicada

Desde el punto de vista constructivo, se puede definir la bóveda tabicada como una bóveda constituida por ladrillos puestos de plano en diversas capas superpuestas, siguiendo una cierta curvatura fijada para el intradós. En razón del aparejo empleado, la construcción procede sin uso de cimbras fijas, aunque sí pueden aparecer algunas de posicionamiento y de control geométrico. Las características de ligereza y de escaso grosor dependen del material y del aparejo constructivo; las dimensiones del ladrillo, denominado rasilla, son aproximadamente, de 30 × 15 × 1,5 cm y de unos 1,2 kg/cm^2 de peso. El reducido espesor y la peculiar consistencia de la tierra de arcilla empleada para la elaboración de las rasillas garantizan la considerable ligereza del ladrillo fabricado de esta manera (Fig. 1).

En la construcción tabicada las rasillas se disponen en tres o cuatro capas superpuestas y tomadas con pasta de yeso (o con cemento rápido en épocas más recientes) y mortero de cemento o de cal; la primera hoja, denominada *sencillado*, que como se ha dicho anteriormente, se realiza sin la ayuda de encofrado, tan sólo de una guía desplazable, se recibe con pasta de yeso. La ligereza del ladrillo, unida a la tenacidad y rapidez de fraguado del mortero, permite que durante la etapa de puesta en obra la rasilla se sostenga manualmente durante unos pocos segundos. Las siguientes capas, denominadas *doblado*, se reciben con mortero de cemento o de cal. Independientemente del aparejo constructivo para una correcta ejecución de las bóvedas tabicadas deben respetarse algunas reglas fundamentales. En primer lugar debe asegurarse siempre el cumplimiento de una regla general de la construcción de fábrica: el desplazamiento relativo entre las juntas de las diferentes hojas, esto es, deben matarse las juntas (Fig. 2). Además, la cantidad de mor-

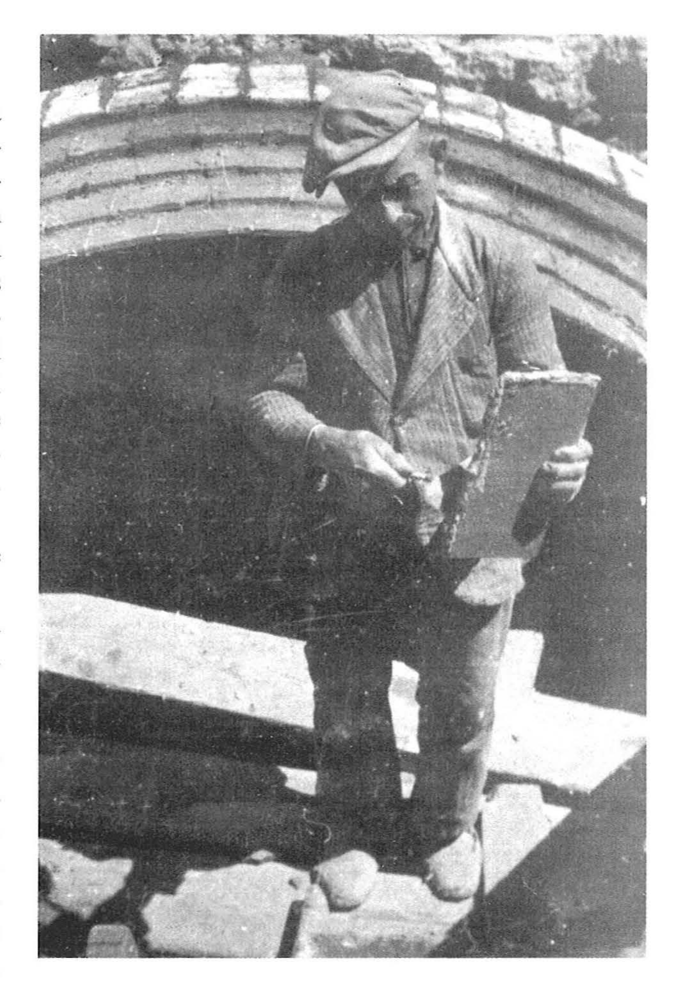


Figura 1
Fase de la construcción de una bóveda tabicada. Recibido del mortero a lo largo del borde de la rasilla

Traducción de Ignacio Javier Gil Crespo



Figura 2
Momento de la construcción de una escalera tabicada. Las juntas entre las diferentes hojas se van matando durante el curso de construcción del *sencillado*

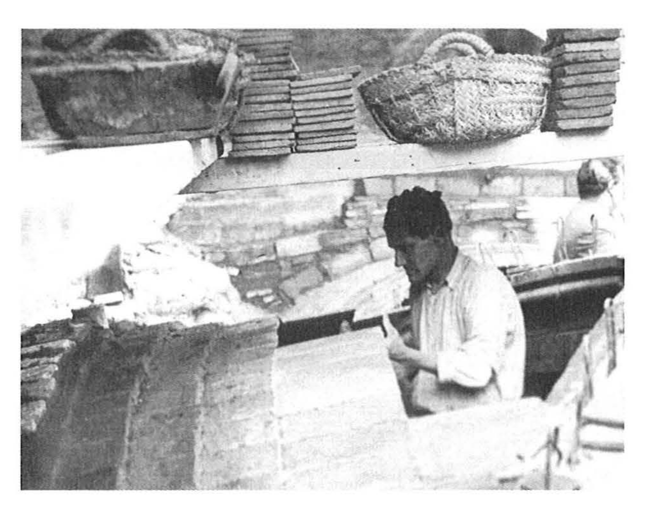


Figura 3
Ejecución de tres estratos de una bóveda tabicada cilíndrica

tero introducido entre las capas de rasillas debe determinarse en relación al espesor de la parte en ladrillo, con una relación comprendida entre 0,5 y 1. Con esto se consigue que haya secciones estructurales portantes de espesor reducido y variable desde un mínimo de unos 7 cm para bóvedas de tres capas, a un máximo de 10 u 11 cm para las de cuatro hojas.

Otra invariante constructiva se refiere a la forma de construir las distintas capas. Para la primera capa, y después para las siguientes hojas superpuestas, la construcción crece a partir de un muro de cabeza y continúa hasta cerrarse en el opuesto. La construcción avanza por tanto con la realización simultánea del *sencillado* y del *doblado*, manteniendo un receso entre el último estrato y el perfil extremo de la bóveda de unos 60 cm, que corresponde a la longitud media de un brazo tendido (Fig. 3).

La escuela de la Sagrada Familia, realizada en 1909 según el proyecto de Antonio Gaudí, constituye el ejemplo más emblemático de la aplicación de esta técnica (Fig. 4). En esta pequeña arquitectura no hay distinción ni formal ni constructiva entre los elementos estructurales que componen el cerramiento; las paredes externas se curvan según la razón geométrica de la figura espacial del conoide. Del mismo modo se define la forma abovedada de la cubierta. El aparejo constructivo empleado permite cumplir, con la misma estructura constructiva, la doble función de muro portante y de cubierta. Antonio Gaudí fue seguramente el arquitecto que mejor interpretó la potencialidad constructiva ofrecida por esta antigua técnica popular española, cuyo más remoto testimonio se remonta a algunos edificios del periodo medieval.

La razón por la cual las bóvedas realizadas con la técnica tabicada se denominan generalmente «catalanas» no deriva de una cuestión ligada al origen geográfico, dado que las construcciones tabicadas han estado

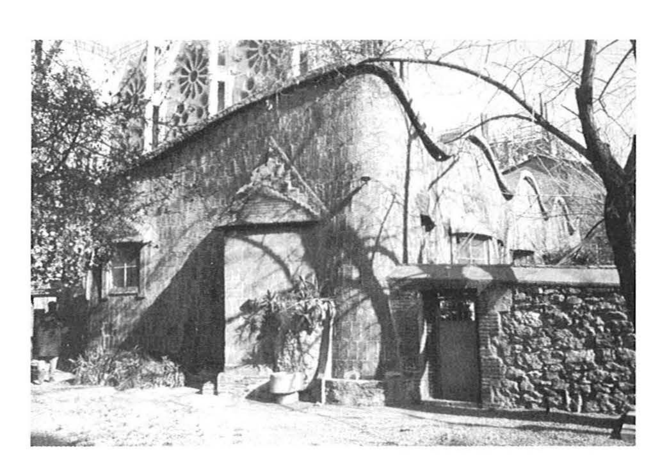


Figura 4
Antonio Gaudí, escuela de la Sagrada Familia, 1909

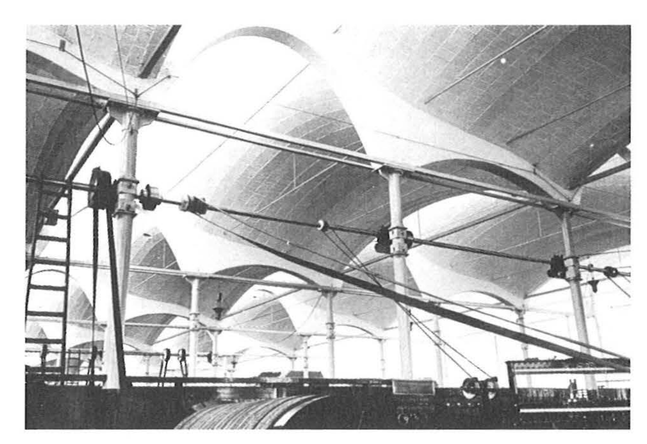


Figura 5
Luis Muncunill, Vapor Aymerich y Amat Jover, Tarrasa, 1907

presentes en otras áreas del territorio español, así como en el sur de Francia, en Portugal, en la Cerdeña occidental y en muchas zonas de la Italia meridional. Sin embargo, el principal motivo se atribuye al extendido uso de este sistema constructivo en la Cataluña del siglo XIX. En efecto, la extraordinaria habilidad alcanzada por los maestros catalanes permite a los arquitectos del movimiento modernista catalán dar vida a soluciones arquitectónicas inéditas reunidas bajo un característico y novedoso empleo de estructuras abovedadas tabicadas.

Ha sido, por lo tanto, el prestigio adquirido por la rica y extendida producción arquitectónica modernista, desde la obra de los maestros Gaudí y Doménech i Montaner, pasando por la de Puig i Cadalfach, hasta la de la abundante multitud de discípulos como Berenguer, Martinell, Jujol, Rubiò Bellver, Muncunill, u otros como Guastavino, el que ha otorgado fama y admiración por la construcción abovedada tabicada fuera de las provincias catalanas. (Fig. 5)

El primer estudio monográfico dedicado al análisis constructivo y al comportamiento estructural de las bóvedas tabicadas se publica en Boston en 1893. El autor es Rafael Guastavino, un constructor educado en Barcelona que emigró a los Estados Unidos en 1881. La «Guastavino Company» encontró un lugar dentro del mercado americano de la construcción, sobre todo como empresa especializada en el empleo de la técnica tabicada para la construcción de cubiertas de grandes luces. En un período de cuarenta años realizó cerca de dos mil intervenciones en edificios entre nuevas construcciones y restauraciones parciales de otras ya existentes.

Antes de emigrar a los Estados Unidos, Guastavino ya había experimentado la construcción tabicada en el proyecto para una fábrica textil en Barcelona, la fábrica Batlló, hoy sede de la Universidad de Ingenieros Industriales (Fig. 6). El interés de Guastavino por el empleo del sistema tabicado, incrementado con el tiempo, derivaba principalmente de dos motivos. Por un lado, en ese momento era una cuestión primordial garantizar la seguridad contra el fuego de los edificios industriales que normalmente se construían con una estructura portante de acero o madera. En ese contexto, Guastavino propuso emplear como elementos de cubierta bóvedas tabicadas con un *sencillado* de ladrillos refractarios. El segundo motivo de interés tenía que ver, sin embargo, con las ventajas que la construcción tabicada ofrecía desde el punto de vista de la resistencia estructural en razón de su exiguo espesor y notable ligereza.

En el estudio citado, *Essay on the theory and history of cohesive construction,* Guastavino intentó dar una explicación estructural de la construcción tabicada de acuerdo con un desarrollo teórico derivado de una serie de ensayos experimentales realizados en laboratorio. La hipótesis teórica de Guastavino se fundamenta en el concepto de «cohesividad estructural». A continuación se describirán los aspectos más importantes de esta tesis. Guastavino clasifica la construcción en dos categorías: «construcción mecánica» y «construcción cohesiva». La primera categoría engloba la experiencia constructiva histórica basada en el sistema «de gravedad». El mecanismo estructural está determinado por las acciones recíprocas que ejercen entre sí las distintas dovelas sin que el material interpuesto desarrolle funciones estáticas primarias. En este caso, las distintas dovelas se pueden separar y volver a colocar posteriormente según la disposición originaria. En cambio, a la segunda categoría pertenece la construcción cuya estabilidad se basa en el concepto de «cohesividad» y de «asimilación» de los materiales componentes, en la que no resulta posible separar uno de otro sin destruir la totalidad de la fábrica. Por esa razón, Guastavino consideró la bóveda tradicio-

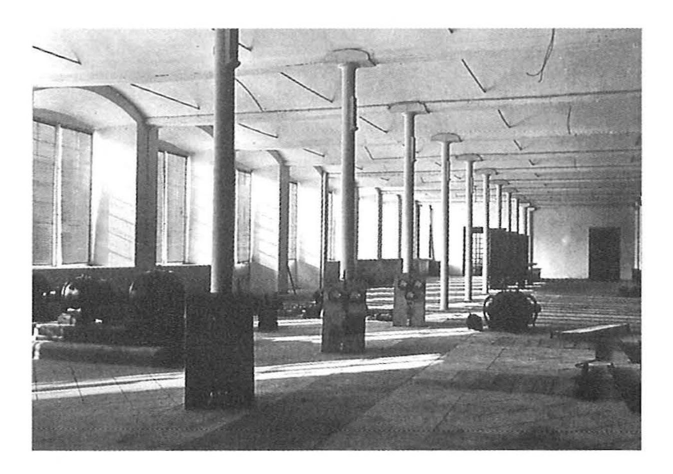


Figura 6
Rafael Guastavino: Fábrica Batlló. Barcelona, 1870. Sobre una estructura formada por pilares y vigas de madera, se soporta el sistema de bóvedas tabicadas de cañón

nal con ladrillos puestos a sardinel, las bóbedas de dovelas, y también las bóvedas de una sola capa con ladrillos sentados de plano como pertenecientes a la primera categoría ya que implicaban el matado de las juntas a lo largo de la directriz ortogonal al desarrollo curvilíneo de la bóveda; sin éste se hubiera producido una separación física entre los elementos resistentes y no se habría garantizado una sólida ligazón constructiva entre el mortero y el ladrillo.

Una serie de ensayos experimentales realizados sobre bóvedas de ladrillo de dimensiones similares e idéntico espesor, pero realizadas unas con la técnica tradicional y otras con la tabicada, sirvieron a Guastavino para confirmar la fiabilidad de las hipótesis teóricas relativas sobre todo al mejor comportamiento estructural de la construcción tabicada. Un incidente ocurrido durante la construcción de los forjados abovedados de la Public Library de Boston (Biblioteca Pública de Boston) (Fig. 7), realizada según un proyecto de McKim, Mead y White por la empresa Guastavino en 1892, fue mencionado por éste como un interesante ejemplo del peculiar comportamiento físico de las bóvedas realizadas con esta técnica. Un macizo de cerca de dos toneladas cayó por accidente desde el piso alto hasta una bóveda tabicada del piso bajo. El sólido traspasó la bóveda produciendo un agujero de cierta magnitud y, no obstante, ni siquiera llegó a provocar el derrumbe. La bóveda fue restaurada mediante una simple operación de «recosido» de la parte que cayó arrollada por el bloque. (Fig. 8)

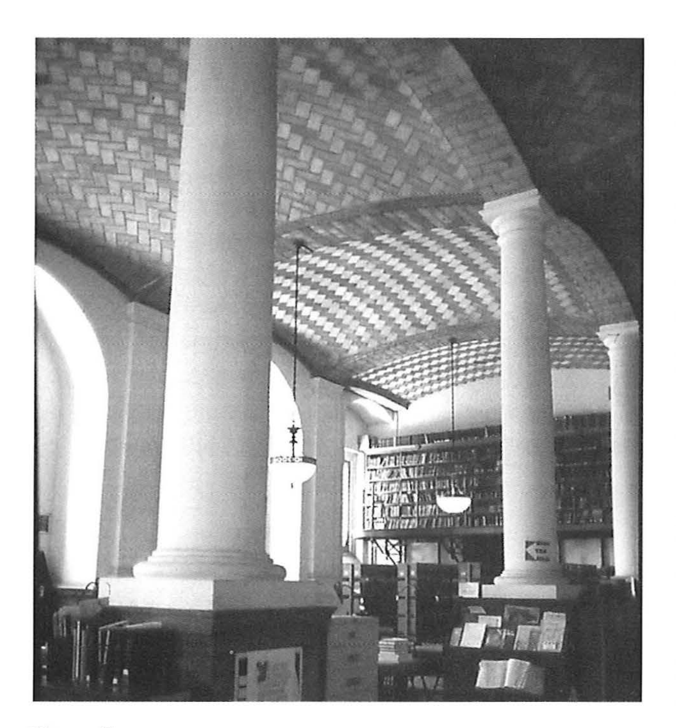


Figura 7
Rafael Guastavino. Biblioteca Pública de Boston, 1892. El espacio de la biblioteca, cubierto con bóvedas tabicadas

En suma, las consideraciones teóricas propuestas por Guastavino se basan en el concepto genérico de «cohesividad estructural», entendido como propiedad constitutiva de la construcción de varias capas o estratificada, a matajuntas y con una determinada relación entre el espesor del mortero y el ladrillo, que constituye la primera explicación del comportamiento estructural de las bóvedas tabicadas. Es una formulación teórica que aunque se apoya en pruebas experimentales y, sobre todo, en ejemplos extraordinarios de estructuras abovedadas que cubren luces del orden de veinte metros con secciones resistentes de 8 a 10 cm, no basta para describir y determinar numéricamente el funcionamiento mecánico global de estas estructuras. La teoría elaborada por Guastavino, y recogida en el ensayo antes mencionado (*Cohesive construction*), relativa a la descripción de un método de cálculo y de verificación de las estructuras tabicadas de ladrillo, se presenta como una aproximación y privada de un valor científico fiable.

No es éste, por supuesto, el contexto de estudio donde resulta posible y oportuno profundizar en este aspecto, cuya discusión interesa en otros ámbitos disciplinarios. Por lo tanto, quedará limitada la disertación sólo a una sucinta descripción de algunas cuestiones teóricas que fueron objeto de discusión en el debate abierto entre los estudiosos y los proyectistas españoles en el transcurso de los años 40 y 50. En primer lugar se plantea la cuestión relativa a la falta de estudios teóricos fiables en aquella época que permitieran describir el comportamiento mecánico de las bóvedas tabicadas a través del empleo de un método matemático de cálculo. De hecho, se manifestó una crítica de fondo por parte de algunos expertos de aquel periodo en la confrontación de las hipótesis basadas en el empleo de la teoría de la elasticidad como modelo matemático de referencia.[1]

La presencia simultánea de tres materiales diferentes, esto es, yeso, cemento y ladrillo, ponía en discusión la correcta identificación de los valores de los coeficientes numéricos que describen las características mecánicas de una fábrica construida de esta manera. Particularmente, los estudios desarrollados por Luis Moya Blanco, un arquitecto madrileño que concentrará su investigación arquitectónica en el constante empleo de bóvedas tabicadas, tendieron a demostrar, mediante ensayos llevados a cabo en laboratorio, la discordancia existente entre los resultados analíticos obtenidos aplicando un método de cálculo fundamentado en la teoría de la elasticidad lineal y aquellos deducidos de las verificaciones experimentales. Por lo tanto, la propuesta que argumentó Luis Moya se limitó a proporcionar, sobre una base empírica, algunos esquemas generales de referencia que articulasen las condiciones de carga con

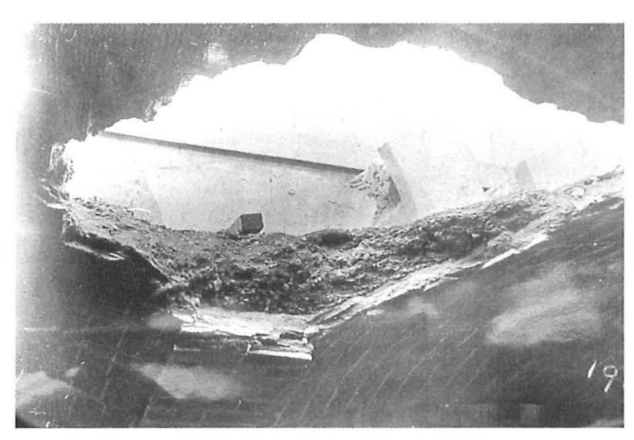


Figura 8
Rafael Guastavino, Biblioteca Pública de Boston, 1892. Imagen de la época en la que se representa el boquete producido por la pieza caída sobre la bóveda del piso bajo

la relación entre la flecha y la luz correspondiente a las varias configuraciones de bóvedas.[2] No obstante, las variantes constructivas introducidas por Luis Moya respecto al tradicional sistema tabicado, tuvieron que ver con el empleo de ladrillos huecos, de un espesor cercano a los 4 cm, en sustitución de las rasillas. Además, con la utilización en las bóvedas cilíndricas en particular, de un aparejo constructivo que preveía la puesta en obra de las capas del *doblado* a lo largo de directrices diagonales, se garantizaba siempre el constante matado de las juntas, con lo que se producía una sustancial reducción del tiempo de ejecución y, por lo tanto, del coste. (Fig. 9)

El problema del abaratamiento de los costes de mercado de la construcción española de los años 40 y 50 se convirtió en un referente importante en las decisiones de proyecto de los arquitectos de este periodo. Estos son los años en los cuales, a causa de la crisis económica resultante de la Guerra Civil y del consecuente y notable incremento del coste de algunos materiales constructivos, como el hierro y el cemento, se renueva el interés por el empleo de las técnicas constructivas tradicionales.

Es en este periodo cuando tiene lugar la experimentación desarrollada por el arquitecto catalán Ignacio Bosch Reitg, centrada en el estudio de una variante constructiva del sistema tabicado. Esta investigación experimental de Ignacio Bosch tuvo como objetivo la creación de un elemento constructivo económico, ligero y estructuralmente resistente. La elección recae en el elemento constructivo abovedado con doble curvatura, de una sola capa y realizado, del mismo modo que lo hacía Luis Moya, con ladrillos huecos (Fig. 10). La hipótesis teórica sugerida por Ignacio Bosch como apoyo a su propuesta constructiva se fundaba principalmente en la discusión de los argumentos teóricos propuestos en el ensayo de Rafael Guastavino relativos al comportamiento estructural de las bóvedas tabicadas.[3]

Como ya se ha señalado anteriormente, según Guastavino el peculiar comportamiento estructural de las bóvedas tabicadas deriva, en primer lugar, de la «cohesión» conseguida entre las diferentes capas de rasillas con las juntas de mortero interpuesto y, en segundo lugar, del constante matado de estas mismas juntas entre las capas.

La crítica de Ignacio Bosch se refería principalmente a dos cuestiones: la primera tenía que ver con la investigación de una configuración estructural idónea para el elemento abovedado en razón de la optimización de los materiales empleados; mientras que la segunda ponía en evidencia la falta en aquellos años de estudios científicos fiables que pudiesen dar respuesta cierta al comportamiento estructural real de las bóvedas realizadas con esta técnica.

En un ensayo publicado en 1949,[4] Ignacio Bosch sostenía la tesis de que la resistencia de las bóvedas tabicadas no era debida a la conexión establecida entre los diversos estratos de rasillas y el mortero, sino que dependía exclusivamente del valor del momento de inercia de la sección. Por lo tanto, comparando, a igualdad de sección, una bóveda tabicada ejecutada con estratos y una de una sola capa de ladrillos perforados, la segunda resultará ser estructuralmente más resistente.[5] Sin embargo, siempre según Bosch Reitg, el empleo de un solo material, en razón de la mayor homogeneidad estructural, proporcionará también la posibilidad de determinar con exactitud las características resistentes de la sección preestablecida. A partir de estas consideraciones, Ignacio Bosch propuso la forma constructiva de

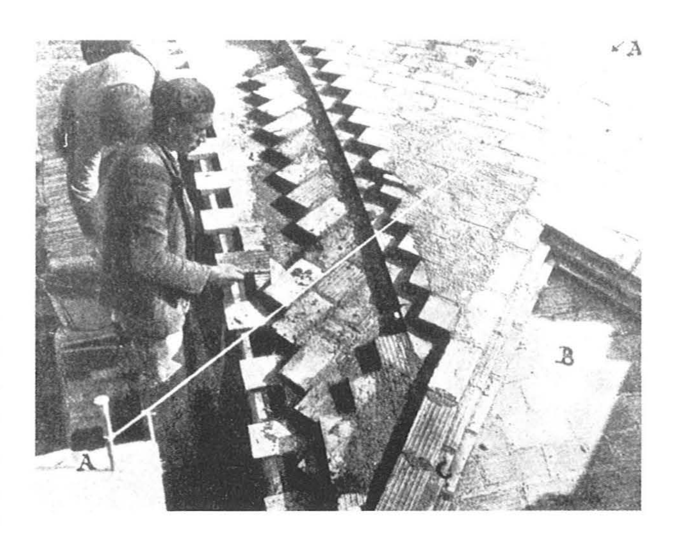


Figura 9
Luis Moya Blanco, Museo de América, Madrid, 1944. Fase de construcción de la cubierta compuesta por bóvedas de cuatro capas de ladrillos huecos

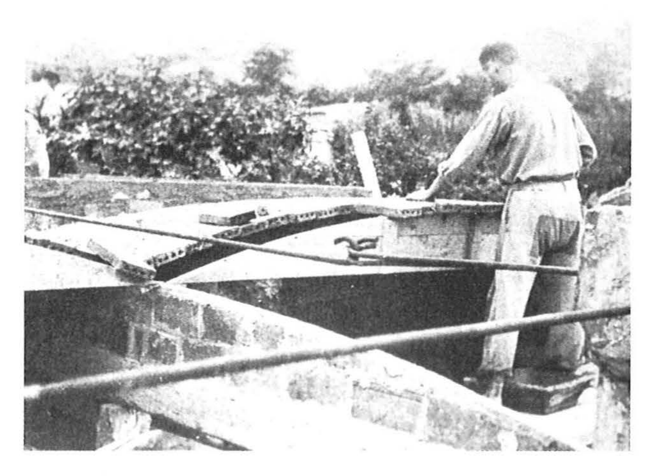


Figura 10
Construcción de una bóveda de una sola capa con ladrillos perforados según la teoría del arquitecto Ignacio Bosch Reitg

la bóveda rebajada «a vela» de una sola capa como la mejor solución estructural para la realización de los forjados intermedios de un edificio así como para la cubierta (Fig. 11).

La opción por esta tipología constructiva derivaba tanto de la consideración de que la doble curvatura de la bóveda permitía la eliminación de los esfuerzos a flexión generados por la presencia de cargas asimétricas, como del hecho de que el aparejo constructivo empleado para la realización de las bóvedas «a vela» satisfacía plenamente los requisitos de rapidez y economía del sistema.[6] Para otros asuntos constructivos y tipológicos, Ignacio Bosch analizó también los problemas de orden estructural elaborando una metodología propia de cálculo para la verificación estática de las estructuras abovedadas de una sola capa. La principal observación crítica, dentro de la comparación de los estudios precedentes concernientes a la determinación del comportamiento estructural de las bóvedas tabicadas, estaba concentrada, como ya se ha mencionado antes, en el hecho de que los resultados obtenidos de tales análisis se basaban en el concepto de que la sección resistente de la estructura tabicada de más capas pudiese ser considerada como constituida de un material homogéneo y, por tanto, fuese describible como una estructura con un comportamiento de tipo elástico, determinable matemáticamente aplicando la ley de Hooke.[7]

La demostración de que los resultados teóricos así expresados no tienen razón de ser se manifestaba en la discordancia evidente con los éxitos de las pruebas realizadas experimentalmente. Ignacio Bosch Reitg estableció hipótesis que permitiesen resolver el problema del dimensionamiento estructural empleando un método de cálculo simplificado, de rápida y fácil aplicación que —dado que también se basaba en algunas aproximaciones teóricas— se mostraba congruente con los resultados obtenidos en los ensayos experimentales.[8]

El estudio realizado por Bosch Reitg se cita en toda la bibliografía referente al análisis constructivo y estructural del sistema tabicado. Pero más allá del interés suscitado en el ámbito de la discusión teórica, su empleo en la arquitectura construida quedó limitado a dos insignificantes ejemplos.[9] Sin embargo, la peculiar y novedosa hipótesis constructiva propuesta por Ignacio Bosch Reitg también adquiere relevancia desde el punto de vista arquitectónico es decir, resulta significativa e importante porque presenta interesantes analogías con las propuestas de Le Corbusier en esos mismos años. (Fig. 12)

Los dibujos y los escritos de Le Corbusier no contienen referencias al estudio ni a la experiencia desarrollada por Ignacio Bosch Reitg. Por lo tanto, no es posible saber con certeza si Le Corbusier conocía la solución constructiva elaborada por el arquitecto catalán. Lo que sí parece importante destacar es que más allá de los presupuestos proyectuales y de los éxitos arquitectónicos producidos, evidentemente marcados de una sustancial diferencia, tanto en la labor de Le Corbusier como en la de Ignacio Bosch Reitg, se puede encontrar el rastro de un precedente común de búsqueda a partir de un conocimiento concreto de una técnica tradicional. Es estimulante el poder reinterpretar los contenidos constructivos de una técnica tradicional para poder recuperarlos posteriormente en los proyectos propios y, por qué no, también en los de otros arquitectos.

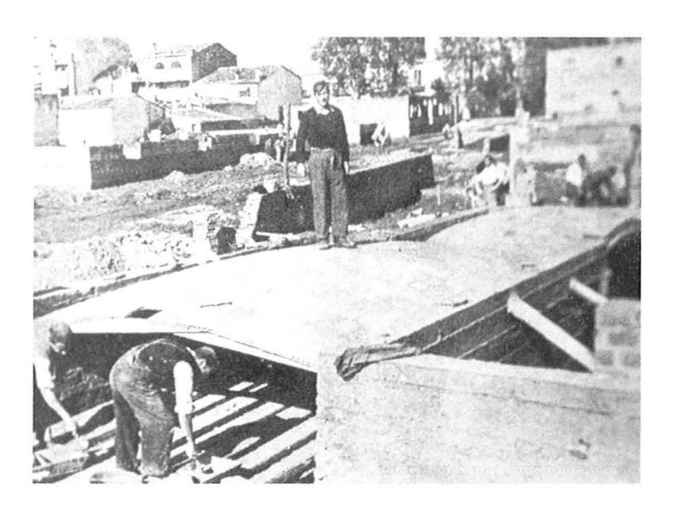


Figura 11
Ignacio Bosch Reitg, Gerona. Fase constructiva de las bóvedas de doble curvatura de una sola capa, «a vela», con ladrillos huecos

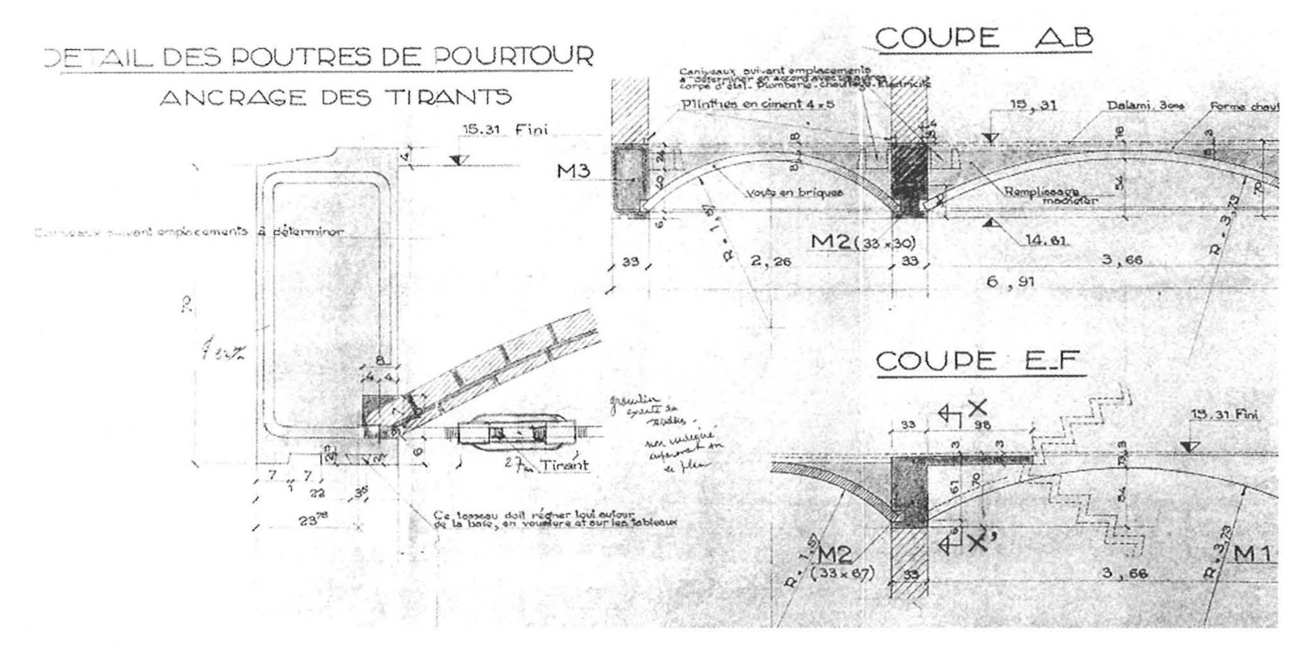


Figura 12
Le Corbusier. Maison Jaoul, 1951. Dibujo de detalle de la solución constructiva de las bóvedas en ladrillo

Modos de hacer y procedimientos técnicos

Como se ha descrito anteriormente tratando de los orígenes y de la evolución de esta técnica constructiva, la *bóveda tabicada* se define como una bóveda construida con ladrillos puestos de plano siguiendo una curvatura marcada en el intradós, y en diversas hiladas superpuestas. La peculiaridad de este género de construcción reside principalmente en el sistema utilizado para la puesta en obra que prevé un uso reducido, incluso la ausencia de cimbras auxiliares. Además, el *sencillo* o *sencillado*, construido con rasillas de dimensiones de 30 × 15 × 1,5 cm, no cumple con la única función de encofrado perdido, como tenía en la arquitectura romana, si bien se considera como una estructura que colabora eficazmente a la resistencia de toda la bóveda. Las siguientes capas, cuyo número puede variar según la necesidad estructural específica, se pueden realizar bien con las rasillas o bien con los ladrillos macizos tradicionales. Como destaca F. Casinello,[10] la razón del desarrollo y del frecuente empleo de esta técnica en la tradición constructiva catalana se basa principalmente en tres motivos: la simplicidad constructiva, gracias al empleo de mano de obra especializada, la mínima utilización de cimbras resistentes; sus cualidades resistentes, debidas al hecho de que trabaja principalmente a compresión y a su considerable rigidez respecto a las deformaciones producidas por la flexión; y, por último, la economía en el empleo de hierro.

De un modo especial se puede destacar en este último aspecto el reavivado interés que tuvieron los arquitectos españoles del periodo de posguerra en el estudio y empleo de esta técnica constructiva. La producción de hierro reducida y de baja calidad en España durante estos años indujo a muchos proyectistas a acercarse a los sistemas constructivos tradicionales basados preferentemente en el empleo del ladrillo, lo que supuso una posible respuesta a los problemas ligados a la construcción de viviendas obreras o baratas, las consideradas «viviendas» o casas de obreros. Hoy día esta técnica, ejemplo notable de la pericia constructiva de los maestros catalanes, es raramente empleada. Los motivos de esta progresiva desaparición son múltiples y tienen diferentes orígenes. En un escrito de 1967, Ángel Truñó Rusiñol,[11] sostiene que una de las principales causas de su rápido desprestigio radica en que la maestría ya no va unida a la calidad del trabajo y la economía de la construcción.

Como se ha dicho, al margen de los motivos de orden formal y estáticos construitivos, el frecuente empleo de las bóvedas tabicadas en Cataluña es consecuencia de su rapidez de puesta en obra y, por lo tanto, de la economía de la construcción. El análisis que llevó a cabo Truñó a mediados de los años sesenta acerca de la rentabilidad de la técnica catalana, pone en evidencia cómo a la pérdida de calidad de la mano de obra corresponde también una mayor lentitud en la fase de ejecución y, por consiguiente, una posterior disminución de rentabilidad de esta técnica. Actualmente, el empleo de esta técnica constructiva se encuentra confinado al campo de la restauración y de la conservación y recuperación de los edificios, porque numerosos son los ejemplos de edifi-

cios históricos catalanes (sobre todo aquellos pertenecientes a la edificación menor) realizados con la técnica de las bóvedas tabicadas. En la construcción contemporánea, su empleo se encuentra extremadamente reducido y tiene que ver principalmente con la realización de diferentes tipos de escaleras.

Acto seguido, pero siempre en este contexto, se describirán escuetamente algunos problemas relativos a la técnica constructiva y a la puesta en obra, haciendo constante referencia a los textos y a los manuales de la época y también a las valiosas informaciones ofrecidas por algunas antiguas fábricas catalanas y pruebas experimentales desarrolladas en laboratorio. Por razones de síntesis no resulta posible apuntar de forma detallada y exhaustiva todos los aspectos constructivos inherentes a los diferentes empleos de tal técnica. Este artículo se limita a detallar las modalidades constructivas para la realización de las dos tipologías más empleadas en la construcción histórica: la bóveda cilíndrica y la bóveda de arista.

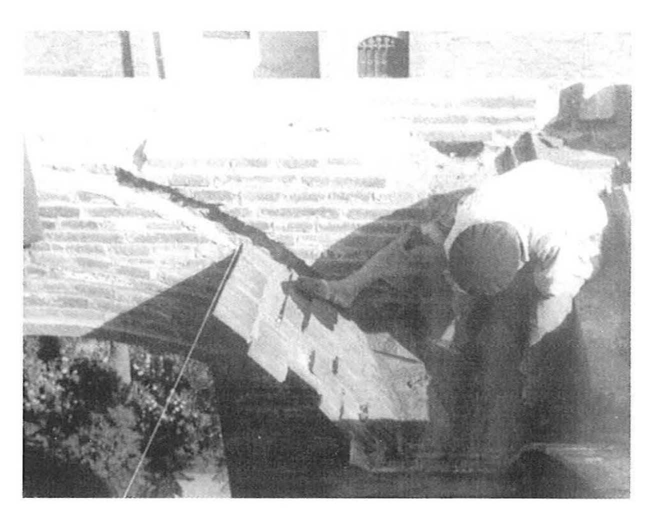


Figura 13
Fase de construcción de una bóveda tabicada cilíndrica. Es evidente la traza marcada provisionalmente en el muro de testero para fijar el borde libre de la bóveda

Bóveda cilíndrica

Este tipo de bóveda ha sido el más frecuentemente utilizado por la construcción tabicada, tanto por razón de la economía de construcción como de la facilidad y rapidez de ejecución. La curvatura se define por la relación entre la flecha y la luz, que varía, como se cita en los manuales de la época, entre valores de 1/12 y 1/5. En la construcción de una bóveda cilíndrica se utiliza (aunque no es indispensable, como ya se ha apuntado) una forma o camón ligero que se desplaza al avanzar la construcción sobre dos listones de madera fijados a los muros o insertados en dos rozas laterales de forma adecuada (en catalán se denominan *rozas* o *galzes*) (Fig. 13).

Para las bóvedas que cubran grandes luces se ayuda la construcción con una guía formada por tirantes fijados a dos cimbras puestas en los extremos para facilitar la correcta ejecución de la curvatura de la bóveda (Fig. 14). En el caso de bóvedas rebajadas (por poner un ejemplo: una bóveda de 12 metros de luz con una flecha de 1 ó 1,5 m) es posible utilizar un solo andamio para cada fase constructiva, realizando el *sencillado* y el *doblado* a la par. La primera cuadrilla construye el *sencillado* deteniéndose en la proximidad del borde libre de la bóveda, no más de 60 cm, de modo que se pueda utilizar el mismo andamio para la realización de las hiladas sucesivas. Según lo estudiado por F. Casinello,[12] la tercera hilada se puede recibir con mortero de cemento Portland de fraguado normal, o bien con mortero de fraguado lento. En este segundo caso es necesario esperar 48 horas antes de poner en obra el siguiente estrato. El autor subraya además como pasos fundamentales en la fase constructiva la simultánea puesta en obra del *doblado* a partir de las impostas hasta la clave de la bóveda, ya que en el pasado se registraron numerosos derrumbes acaecidos durante la construcción y debidos a la falta de observación de esta regla constructiva.

Hay que añadir, además, que en el caso en el cual la curvatura de la bóveda resulte particularmente rebajada, es oportuno insertar, a intervalos regulares en razón de la necesidad concreta de la bóveda en cuanto a su luz, nervios ejecutados con tabiques palomeros de ladrillos perforados tomados con mortero de cemento, tanto para contrapesar el incremento de las fuerzas de tracción, como para rigidizar horizontalmente la estructura completa. Además, en el caso en el cual se deban emplear bóvedas tabicadas como elementos de cierre horizontal intermedios, sobre éstos se ponen arcos de descarga en-

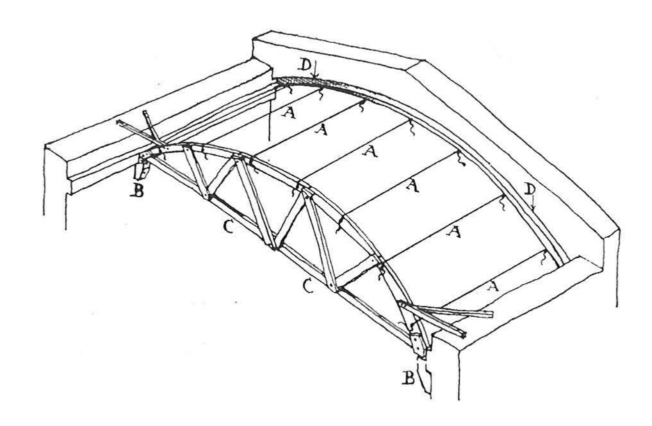


Figura 14
Luis Moya Blanco, sistema compuesto de cimbra e hilos para la realización de bóvedas de gran luz

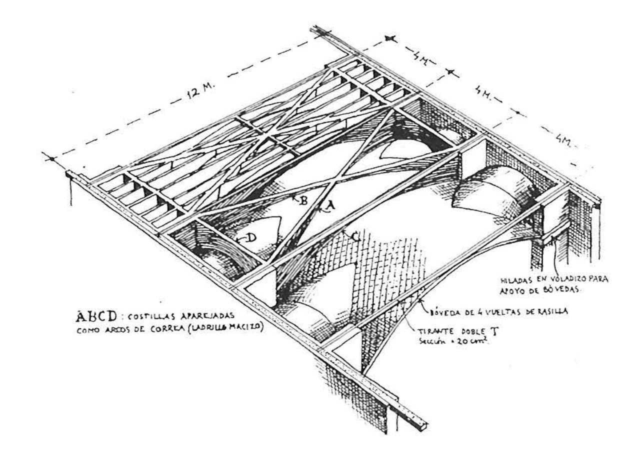


Figura 15
Luis Moya Blanco, sistema de rigidización de las bóvedas con tabiques trasdosados

tre las paredes, de ladrillo perforado o tabiques, dispuestos en forma de cruz para formar una estructura de malla cerrada. (Fig. 15)

Con la ayuda de la figura 17, se puede hacer una descripción detallada de las distintas fases constructivas de una bóveda cilíndrica ejecutada según el aparejo de la imagen 16 A. Se considera para esta explicación una porción de bóveda cuyo primer estrato viene señalado en la figura 17 como ABCD, que se ha erigido procediendo por arcos con inicio en AF y con las rasillas colocadas a tizón desde el testero (arco ABEF). Terminado el primer arco se pasa al segundo estrato con la ejecución del arco AGHI. Para satisfacer las condiciones del matado de las juntas, se colocan en el borde rasillas AIKJ cortadas por su extremo con el fin de obtener la discontinuidad de las juntas longitudinales. Completado este arco se procede con la continuación del *sencillado*, parte del cual está indicado con FEST, sobre el que se va poniendo a continuación la siguiente hilada señalada como IHUV y, una vez terminada, se pasa al tercer estrato ALMN, en el cual, para obtener la discontinuidad de las juntas se disponen las rasillas según las piezas AOXN y OQYX de la figura. Para finalizar, cuando el espesor de la bóveda lo permite, se coloca el último estrato en diagonal (Fig. 18).

Con la adopción de este sistema se puede obtener la discontinuidad de las juntas en cada estrato sin ninguna dificultad constructiva. El único inconveniente que se puede presentar es que, a causa de la considerable amplitud de la bóveda al avanzar la construcción se pro-

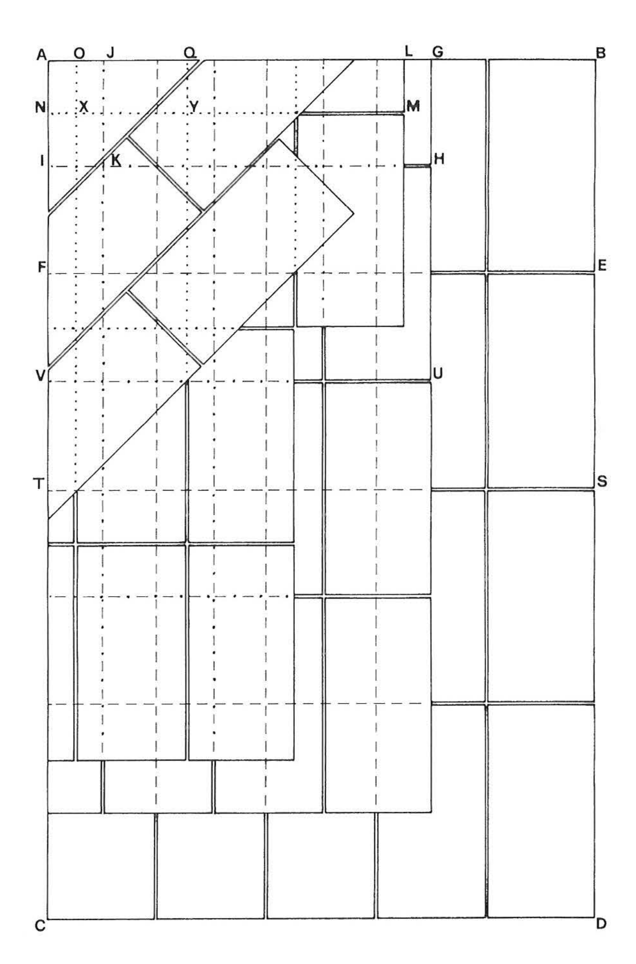


Figura 17
Correcto posicionamiento de las rasillas en una bóveda tabicada cilíndrica de cuatro estratos

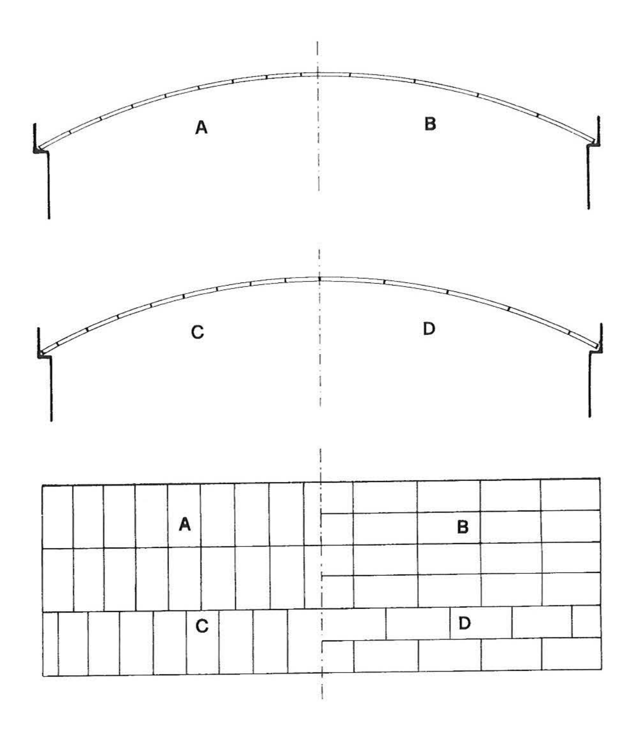


Figura 16
El cuarto aparejo constructivo aconsejado por Ángel Truñó para la realización de bóvedas cilíndricas



Figura 18
R. Gulli, G. Mochi, T. Piamontese, Gano, 1993. Fase de construcción de una bóveda cilíndrica de tres estratos

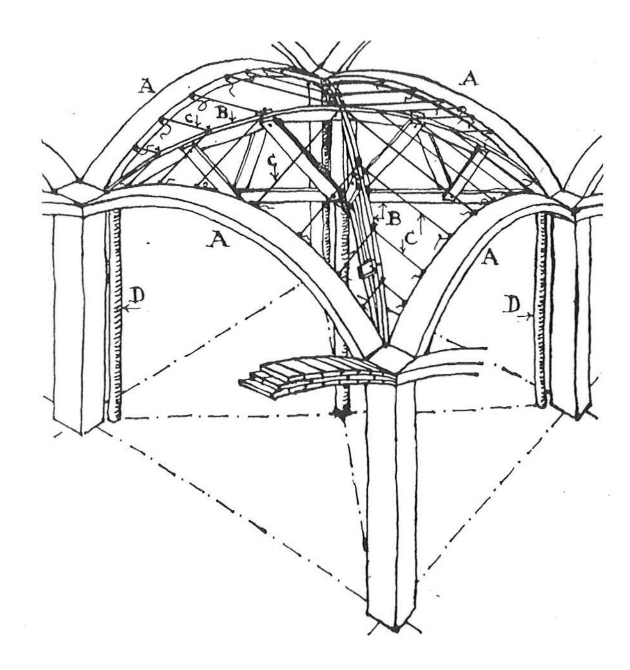


Figura 19
Luis Moya Blanco, construcción de una bóveda de arista sobre arcos con la ayuda de hilos y de camones diagonales

duzca una superposición de las juntas del *sencillado* con las del *doblado*, generando por lo tanto, un importante debilitamiento estructural. En este caso es oportuno interrumpir la construcción y restablecer la discontinuidad cortando algunas rasillas del arco del *doblado* precedente a aquel en el cual se manifiesta tal superposición. Es oportuno proceder de manera simétrica de las impostas a la clave de modo que se cargue uniformemente y gradualmente el *sencillado*.

Bóveda tabicada de arista

Para construir una bóveda de arista o de crucero pueden utilizarse dos métodos distintos. El más simple prevé el posicionamiento de dos camones dispuestos según las diagonales y la ejecución de una traza bajo los cuatro muros laterales para señalar los arranques según la curvatura de los cuatro arcos correspondientes. Cada porción de bóveda se ejecuta con el auxilio de cordeles tensados entre los testeros de los arcos y la cercha (Fig. 19), que tienen la función de generatrices.

El segundo método consiste en levantar los cuatro muros perimetrales hasta que superen la cota de la clave de cada arco de modo que se obtenga un plano horizontal en el cual se pueda fijar un sistema de cordeles tensados (Fig. 20). Posteriormente se siguen las mismas operaciones expuestas en el caso anterior (trazado de los cuatro arcos en los cuatro muros laterales y posicionamiento de los camones a lo largo de las diagonales). En este momento se pueden definir ya las generatrices de la bóveda utilizando una plomada colgada de cada uno de los hilos tensados horizontalmente y señalando, por cada generatriz, una longitud fija que marca la distancia entre ésta y el plano horizontal.

Se analizará ahora el proceso constructivo. En la figura 21 se representan los aparejos constructivos de empleo más frecuente. Partiendo de los arranques FEHG se va avanzando desde los ángulos hasta el centro según la serie numérica indicada en la figura. Se *dobla* inmedia-

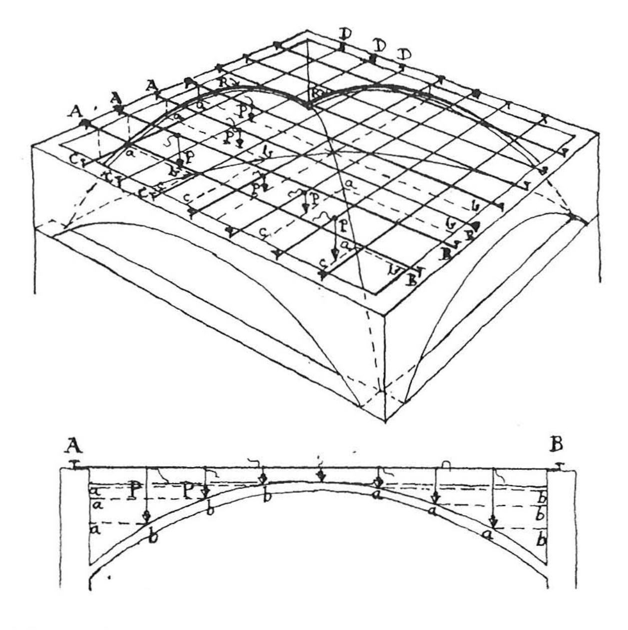


Figura 20
Luis Moya Blanco: construcción de una bóveda de arista en un espacio delimitado por muros perimetrales. Desde el plano horizontal determinado por las cuerdas tensas penden plomadas que caracterizan la geometría de la bóveda

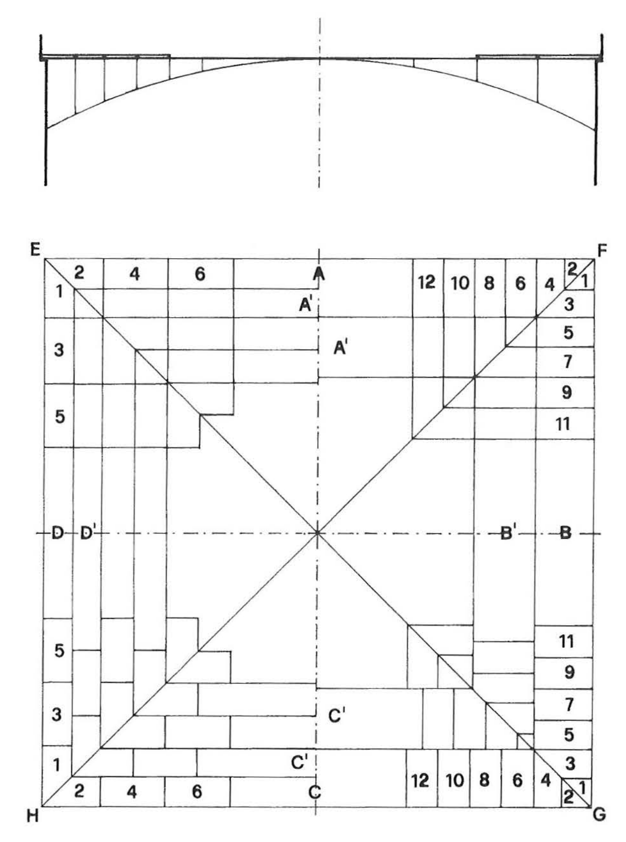


Figura 21
Aparejos de mayor uso para la realización de bóvedas de arista. Se representan en la figura los aparejos de las cuatro capas sucesivas



Figura 22
R. Gulli, G. Mochi, D. Della Chiara, C. Crucianelli, Ancona, 1998. Momento de la construcción del *sencillado* durante la construcción de una bóveda de arista

tamente como se muestra en la figura 23, manteniendo siempre las juntas matadas entre las rasillas. De esta manera se levantan los cuatro arcos de arranque que aumentarán su espesor según avance la obra.

Sin embargo, la construcción de una bóveda de arista puede llevarse a cabo sin emplear en ningún momento cimbras auxiliares. Para explicar con mayor claridad esto, se retomará el ejemplo utilizado por Ángel Truñó en su texto, que trata de la realización de una bóveda de arista en la cripta de la parroquia del Pilar en Barcelona, construida en los primeros años 60 bajo la dirección del arquitecto Antonio Fisas.

La bóveda se levantó sobre una planta cuadrada de 15 m de lado, sobre arcos elípticos. La flecha de los arcos generadores es de 30 cm, mientras que la de los arcos mayores mide 2,5 m. La estructura portante de la bóveda se compone de dos capas de rasillas y otras dos de ladrillo mediano. El trasdós se rellenó hasta conseguir un espesor de 45 cm, con dos arcos de hormigón armado como contrarresto horizontal.

La característica principal de esta construcción reside en el hecho que fue realizada sin el empleo de cimbras. Después de haber levantado los cuatro arcos laterales —representados esquemáticamente con arcos de circunferencia en la figura 24— y tras asegurar la consistencia de los contrafuertes laterales sobre los que iba a cargar el peso de la bóveda, se levantó en O —el punto de encuentro entre los dos arcos— un asta de madera OP, que determinaba en O el punto exacto de paso del trasdós de la bóveda. Desde este punto se tensaron los hilos que conectaban los puntos medios de los cuatro lados perimetrales (OA, OB, OC, y OD) con centro en O, señalando de esta forma las cuatro generatrices de clave.

Posteriormente se fijaron los hilos EF y GH, pertenecientes a los dos planos verticales de las elipses centrales, y sobre éstos se engancharon dos plomadas (MR y QR) que se corrían gracias a dos anillas fijadas en M y en Q. En ese momento se pudo iniciar la construcción de los cuatro sectores a partir de las cuatro pechinas esféricas (K, L, S y T). La dirección de las generatrices se

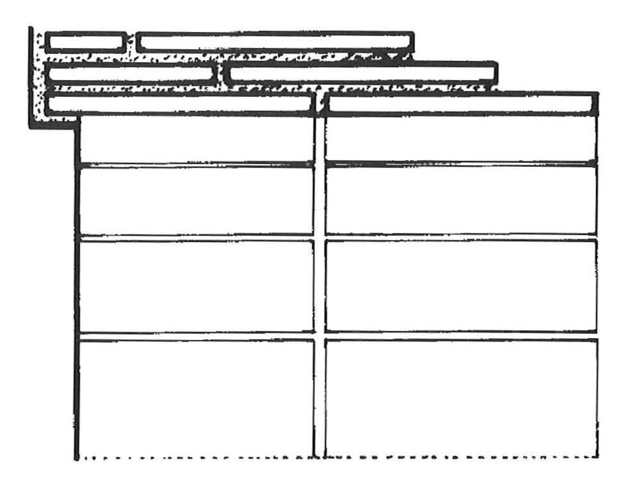


Figura 23
Representación gráfica del ataque de la bóveda tabicada al arco de arranque

obtuvo lanzando visuales desde los lados libres de las rasillas a través de la regla dispuesta bajo la clave. Los puntos que determinaban el arco diagonal se obtuvieron de la intersección de las dos generatrices, XY y ZW, con la vertical MN (en la figura viene indicado el punto V que pertenece al plano vertical de la diagonal GH).

La distancia YV (y también VN en la otra dirección) se dimensionó en relación a la longitud de la rasilla y al tipo de aparejo constructivo empleado (15 cm o 30 cm). Por lo tanto, las dos plomadas que se corrían a lo largo de GH y de EF permitían señalar la intersección plana.

Por último se explicará el posicionamiento de las rasillas haciendo referencia a la figura 25, que muestra la situación en la cual ya se habían levantado 6 arcos (y que ya se habían recubierto con una segunda hilada) y se estaba procediendo a la ejecución del séptimo arco con la colocación de la rasilla ABCD. La rasilla se colocaba entera en el lado AB, y después, con una plomada, se obtenía el punto D. A continuación se cortaba cada rasilla con la forma ABCD. La puesta en obra se realizó del siguiente modo: se colocaba cada rasilla con el lado AB a lo largo del arco GN, asegurándose que la cuerda a plomo pasase por D y que el lado libre BC quedase alineado en vertical con el listón horizontal PQ (que determinaba la dirección de las generatrices). De esta manera se fue procediendo hasta que la bóveda quedó completada.

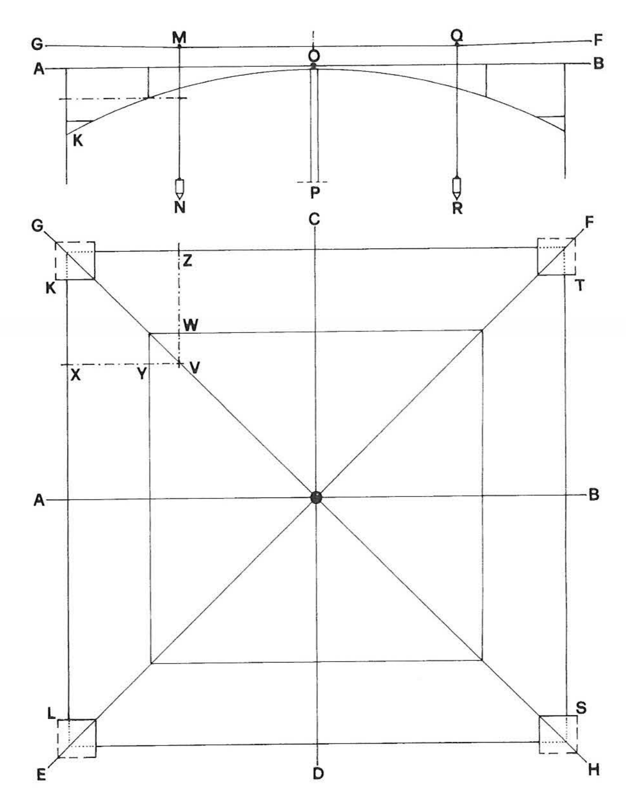
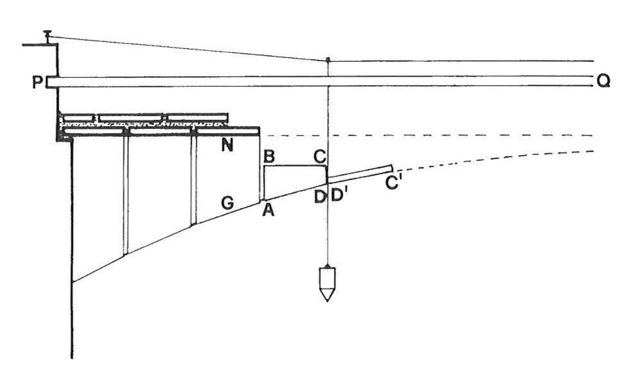


Figura 24
Trazado preliminar de la geometría de una bóveda de arista por medio de hilos tensados



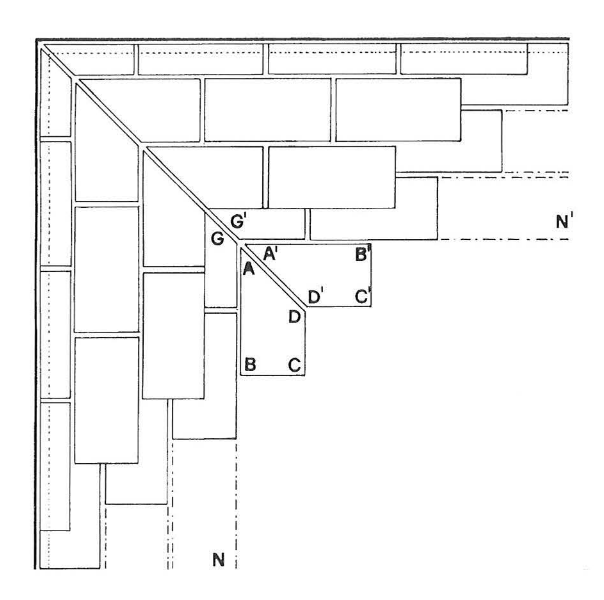


Figura 25
Ejemplo de colocación de las rasillas en una fase avanzada de construcción

Notas

1. Se refiere particularmente a los estudios desarrollados por: Jaime Bayò, «La bóveda tabicada», *Anuario del colegio de Arquitectos de Cataluña,* Barcelona (1910); Joseph Goday i Casals, *Estudi hitòric i mètodes de càlcul de les voltes de maò de pla.* Barcelona, 1934; Buenaventura Bassegoda Musté, *La bóveda catalana.* Barcelona, 1947; Luis Moya Blanco, *Bóvedas tabicadas.* Madrid, 1947; Ignacio Bosch Reitg, «La bóveda vaída tabicada», *Revista Nacional de Arquitectura* 9, Madrid (mayo de 1949); Ángel Pereda Bacicalupi, *Bóvedas, ejemplos y cálculos resueltos.* Santander, 1951; Juan Bergós Masò, *Tabicados huecos.* Barcelona, 1951.
2. Los resultados de las verificaciones concernientes a las bóvedas de cañón y al arco rebajado vienen resumidas en el diagrama de la figura 15 (Luis Moya, *Bóvedas tabicadas,* 23), que muestra tres configuraciones diferentes, representadas por las parábolas P1, P2 y P3, correspondientes a relaciones de 1/12, 1/5 y 1/3 entre la flecha y la luz, y por las circunferencias C1, C2 y C3, obtenidas respetan-

do las mismas relaciones. Según la clasificación dada por el autor, se consideran normalmente tres tipos de condiciones de carga:
a. Carga uniformemente repartida
b. Carga concentrada en la zona central
c. Carga concentrada en los lados
Para el primer caso, la forma más idónea es la parábola de segundo grado con flechas comprendidas entre los valores de 1/8 y 1/12 de la luz y, como se muestra en el diagrama, la curva puede ser sustituida por un arco de circunferencia en el caso en el cual la luz a cubrir no supere los nueve metros.
También en el caso b) la curva, formada por la unión de dos ramas de parábola, puede ser aproximada al arco de circunferencia C2, debido a que la diferencia, siempre en el caso de luces inferiores a nueve metros, es despreciable. De manera especial, el tercer caso muestra cómo, con una relación igual a 1/5 entre la flecha y la luz, se obtiene una curva correspondiente a un arco de tres centros, imposible de aproximar a un arco de circunferencia.
3. Rafael Guastavino Moreno, *Essay on the theory and history of cohesive construction,* Boston, 1893
4. Ignacio Bosch Reitg, «La bóveda vaída tabicada», 185–199
5. Sobre tal resolución comenta Ignacio Bosch Reitg en «La bóveda vaída tabicada», 186: «[...] No es el mortero y la hilada superior contrapuesta al *sencillado* lo que da capacidad resistente a la bóveda. Es el mayor momento de inercia conseguido, pues hoy disponemos de cementos que unen perfectamente los ladrillos con resistencia superior a la de ellos.
Siguiendo este razonamiento, vemos cómo sustituyendo la bóveda que hemos supuesto de rasilla de 1,5 cm por ladrillo hueco mediano, corriente o doble hueco, obtendremos, sin necesidad de *doblado*s, bóvedas con mucha mayor capacidad resistente. He aquí, pues, la solución del problema. La economía y ligereza así obtenidas no pueden ser igualadas por ningún otro sistema».
6. Respecto a este asunto, Bosch Reitg dice: «[...]Vemos, pues, que desaparece totalmente el cemento Portland y el hierro queda reducido a un máximo de 1,5 kg por metro cuadrado de techo: su construcción es realmente tabicada, pues que con tabique podemos construir toda la casa —muros, techos, cubiertas, etc.—, luego su ejecución puede hacerse con gran rapidez, factor hoy día de gran importancia en las construcciones.
Al construir bóvedas independientes por las distintas dependencias, suprimimos totalmente los cielo-rasos, y podemos colocar por encima, fácilmente, las instalaciones eléctricas y desagües de sanitarios, aprovechando la pendiente existente en las mismas y por debajo del tablero de enrase.
El criterio antiguo de que al usar sistemas de bóvedas tabicadas, para que resulte económico, es necesario someterse, en cuanto a su distribución, a normas marcadas con la necesidad de respetar una estructura que debe ser más sencilla y clara posible, desaparece totalmente, pues hemos visto la gran libertad de distribución, tanto en el caso de viviendas como de estructuras libres sobre pies derechos», Ignacio Bosch Reitg, «La bóveda vaída tabicada», 190
7. El autor vuelve a retomar someramente el análisis procedente de algunos estudios de autores que tratan de este tema. En el estudio de Jaime Bayó, «La bóveda tabicada», aparece definida la hipótesis del cálculo de las bóvedas tabicadas basándose en la teoría del arco elástico, articulado en los apoyos, y capaz de absorber las solicitaciones de flexión producidas de los momentos en las diversas secciones. Por el método gráfico se determinan los momentos flectores en razón del espesor y del momento de inercia de la sección en estudio. La crítica hecha por Ignacio Bosch tiene que ver con la determinación del valor del módulo elástico calculado aplicando los coeficientes de estabilidad de la ley de Hooke considerados, sin embargo, válidos sólo en caso de secciones definidas como isótropas y homogéneas. Los estudios sucesivos, desde el de Love o los de Reisser y Meissner, Dischinger-Finsterwalder, hasta el de Buenaventura Bassegoda Musté de 1947, han intentado resolver el problema considerando la estructura tabicada como una estructura laminar, aplicando por lo tanto las hipótesis de cálculo válidas en el caso de membranas. Estos estudios teóricos son concluyentes, pero de escasa relevancia práctica, tanto por la dificultad de aplicación por la vasta cantidad de casos que se pueden presentar, como por lo que apunta Ignacio Bosch, esto es, por la falta de ensayos que consideren los resultados científicos producidos por aquellos estudios. Para profundizar en estas consideraciones, véase: Ignacio Bosch Reitg, «La bóveda vaída tabicada», 190–193.
8. «Todo cuanto hemos indicado nos da idea de lo complejo del cálculo exacto de estas bóvedas, el cual, por su misma complicación, nos haría llegar a soluciones poco prácticas, con sistemas de integrales dobles, reñidas con el espíritu práctico que ha de prevalecer en la técnica arquitectónica. Así, pues, procuraremos simplificar su cálculo con soluciones aproximadas, cuyos resultados se hallen en concordancia con sus comportamientos reales». Ignacio Bosch Reitg, «La bóveda vaída tabicada», 193.
9. El primero es una fábrica de vino en Gerona, con poco interés arquitectónico, pero de relevancia desde el punto de vista constructivo. Esto se debe a la presencia de bóvedas tabicadas de una sola capa, con dimensiones de 8 m × 4,5 m, equilibrando los empujes en los arranques con dos tirantes metálicos paralelos que permiten perforar el centro para ubicar un lucernario. El segundo ejemplo, conservado aunque incompleto, es la construcción del Hospital de Gerona. Las imágenes que reproducen algunas fases de construcción de las bóvedas del piso bajo describen claramente el sistema constructivo utilizado. Es especialmente interesante y sugestiva la imagen que recoge al proyectista subido al trasdós de una de esas bóvedas, con un gesto de querer mostrar la superior resistencia estructural expresada en ese elemento constructivo, sin la capa de relleno ni el solado, que también colaboran estructuralmente. En realidad, los ensayos llevados a cabo durante las obras no proporcionaron sufi-

cientes garantías para la seguridad estática y por lo tanto los trabajos se interrumpieron definitivamente y el edificio no se llegó a terminar.

10. F. Cassinello Pérez, *Bóvedas y cúpulas de ladrillo*. Madrid, 1969, 101–102.
11. Ángel Truñó Rusiñol, *Construcción de bóvedas de rasilla tabicadas*. 1967. Manuscrito inédito.
12. F. Cassinello Pérez, «Bóvedas de ladrillo», *Manuales y Normas del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento,* Madrid (1969): 110.

La huella de la construcción tabicada en la arquitectura de Le Corbusier

Riccardo Gulli

En 1928 Le Corbusier se halla en Barcelona invitado por José Luis Sert, para pronunciar una conferencia sobre temas de la Nueva Arquitectura. El proyecto de Antonio Gaudí para las Escuelas de la Sagrada Familia atrae su interés. En su cuaderno apunta el ingenio constructivo utilizado: una lámina continua y delgada de fábrica resuelve la forma y la estructura del pequeño edificio. En los cinco puntos para una teoría de la arquitectura, expuestos por Le Corbusier en la conferencia, no hay lugar para la memoria y la tradición. En realidad, fuera de las razones afirmativas y dogmáticas propias de toda formulación teórica, el interés de Le Corbusier por los modos de construir tradicionales y por el patrimonio cognoscitivo en ellos conservado, representa un dato constante y recurrente en su actividad como proyectista. En este contexto se inscribe la historia de la construcción de la bóveda tabicada, generalmente conocida como bóveda catalana, que atraviesa de manera sutil y recurrente la experiencia arquitectónica de Le Corbusier, desde el viaje a Barcelona en 1928 hasta los primeros años 60, cuando está ocupado en el proyecto para el Secretariado de Chandigarh.

El presente artículo recorre esta historia poniendo de manifiesto cómo la relación existente entre lenguaje arquitectónico y modalidad técnico-constructiva constituye un pasaje importante en el pensamiento y la obra de Le Corbusier; concretamente, en la renovada interpretación constructiva forjada por Le Corbusier, el peculiar empleo de la bóveda tabicada proporciona un punto de partida interesante para mostrar, en la comparación con Guastavino y Gaudí, las diferencias que se conservan en ella.

La sombra de Gaudí

El 15 de mayo de 1928 Le Corbusier llega a la estación de Barcelona. Ésta es su primera visita a la ciudad. «Mientras estaba en Madrid recibí un telegrama de José Luis Sert (a quien no había visto nunca) donde me pedía encontrarme con él a las 10 en Barcelona, [...] para dar una conferencia en esta ciudad. En la estación conocí a seis jóvenes, todos de corta edad, pero llenos de energía».[1] En los días anteriores a su llegada a Barcelona, Le Corbusier había dado una conferencia en Madrid a la que había sido invitado junto a alguno de los máximos protagonistas de la escena arquitectónica de la época como Mendelsohn, Van Doesburg, Breuer y Gropius.

Le Corbusier ya había llamado la atención de la crítica internacional con una serie de proyectos «manifiesto» del nuevo rumbo arquitectónico: la Villa Stein, la La Roche, la Cook, el edificio para la Weissenhof de Stuttgart y finalmente el proyecto para el Palacio de las Naciones de Ginebra, vencedor del primer premio del concurso. En la conferencia de Barcelona se expondrán las tesis del libro *Une maison, un palais*, recién publicado. Las expectativas de las nuevas generaciones, que se habían adherido con entusiasmo al nuevo credo arquitectónico, se vieron satisfechas. Pero inesperadamente, fuera del papel institucional establecido por la conferencia, Le Corbusier sorprendió a sus interlocutores barceloneses más allegados con argumentaciones de contenido menos dogmático y crítico que lo afirmado en el ámbito teórico.

Traducción de María Teresa Valcarce Labrador

En un artículo aparecido en *La Veu de Catalunya*[2] se registran algunas de sus valoraciones sobre la arquitectura catalana; Le Corbusier dirá: «Pienso que vuestro país es un lugar idóneo para dar vida a las nuevas ideas de la arquitectura [...] La arquitectura que yo propongo es fundamentalmente latina, porque en su interior contiene relaciones matemáticas y posee gran claridad de concepción. ¿Comprendéis así por qué pienso que es adecuada a vuestra tierra dónde existen soluciones estructurales claras y bien resueltas?» y más tarde, recorriendo las calles de Sitges, una pequeña localidad barcelonesa, comentó que «un azote que deberemos soportar en todos los países es el de los arquitectos mal orientados. ¡Observad qué imagen despreciable presentan, en estas calles, las casas construidas con intenciones artísticas! Estos son los cadáveres recientes fruto de la retórica de las academias; [...] Estas casas de los pescadores de Sitges en las que no se halla la mano del arquitecto, pero que son arquitectura».

Éstas y posteriores consideraciones, dejarán desconcertados a los colegas barceloneses. En particular, lo que más les sorprenderá será el interés que había manifestado por la arquitectura de Gaudí.

Posteriormente, en el prólogo del libro de Prats sobre Gaudí, de 1957,[3] Le Corbusier se referirá a las impresiones que le produjeron su primer encuentro con la arquitectura de Gaudí: «Recorriendo la calle descubrí una casa modernista que me fascinó: Gaudí. A la vuelta, en el Passeig de Gràcia una serie de grandes edificios captó mi atención. Más adelante, la Sagrada Familia [...] El fenómeno Gaudí hizo su aparición. Tuve la audacia de mostrarme muy interesado, descubriendo la raíz emocional del siglo XX. [...] Como arquitecto de la *caisse à savons* (la Roche, la Garches, la Saboya) mi interés desorientó a mis amigos. ¿Antagonismo entre el espíritu del siglo XX. y la *caisse à savons?* Este conflicto no existía para mí. Lo que tenían en Barcelona –Gaudí- era el trabajo de un hombre de una gran fuerza y fe, de una extraordinaria habilidad técnica, demostrada a través de una vida de piedras. [...] Gaudí es el constructor del siglo XX, un hombre de oficio, constructor con piedras, hierro y ladrillos».

Los contenidos teóricos enunciados en la conferencia de 1928, donde se pronosticaba un futuro configurado por la estética del progreso tecnológico, contrario a la historia y a la cultura por ella producida, no encuentran, en estas consideraciones, ninguna correspondencia. En efecto, estos son los años en los que comenzará a manifestarse en Le Corbusier un progresivo alejamiento de las posiciones dogmáticas presentes en el programa ideológico del purismo. Un alejamiento que, en su interior, contendrá todas las contradicciones e incertidumbres propias de toda fase de transición. Los fundamentos teóricos que habían mantenido la fe absoluta en las posibilidades que ofrecía la producción industrial en el campo arquitectónico, ahora están presentes en la propuesta proyectista de Le Corbusier, como demuestran los estudios para el empleo del muro cortina en algunos proyectos de los primeros años treinta. Sin embargo, el interés por las expresiones populares y las técnicas constructivas tradicionales toma forma y consistencia, cada vez con más fuerza. El viaje a Barcelona y el encuentro con la obra de Gaudí se sitúa en el centro de esta delicada fase de transición.

Sert registrará en las páginas de la revista *Arquitectura y Construcción* de los primeros años treinta, los términos de este cambio. Al signo estilístico propuesto por las vanguardias alemanas de los años veinte, indiferente al contexto y a la tradición, se opondrá una línea de investigación atenta a preservar y revalorizar las características distintivas de las culturas locales. «Los nuevos ojos» con los que Le Corbusier invita a los colegas catalanes a mirar la arquitectura popular y en particular la obra de Gaudí, representan una primera manifestación de esa «duda interior» que, gradualmente, estaba resquebrajando la fe puesta en los valores de la «modernización tecnológica».

Aunque en realidad, si se mira profundamente, con la única excepción de los proyectos para la *casa domino*, la arquitectura de Le Corbusier de los años veinte sólo había sido una representación «metafórica de la civilización de la máquina», proclamada en el ámbito teórico. Los materiales y las técnicas empleadas eran, preferentemente, de uso habitual. La vestidura blanca y pulcra que cubre esta arquitectura será, sobre todo, la expresión de una realidad a la que se quería aludir, más que la auténtica imagen derivada de esta realidad.[1] La cuestión del desdoblamiento entre la expresión formal y los contendidos constructivos y tecnológicos que la materializan representa un aspecto crucial sobre el que, a continuación, detendremos nuestra atención, analizando las vicisitudes de la técnica catalana en la arquitectura de Le Corbusier de los años cincuenta.

Pero ahora lo que parece oportuno destacar es que, precisamente a partir del reconocimiento de la existencia de tal discordancia, ya desde 1930 tomará forma una nueva fase de la búsqueda de Le Corbusier. El proyecto de la casa Errazuriz es de 1930; el de la casa Mandrot en Tolón de 1931. Sólo dos años antes surgía la Villa Saboya. Las acentuadas diferencias que marcan los resultados conseguidos muestran con claridad la presencia de una profunda «incertidumbre» en el trabajo de estos años. Las mismas palabras de Le Corbusier, pronunciadas para comentar el proyecto de la casa Errazuriz lo confirman: «la tosquedad de los materiales no constituye, en absoluto, un impedimento para la manifestación de una organización clara y para el ejercicio de una estética moderna».[2]

Pero más allá del carácter contradictorio que se trasluce del intento de no negar totalmente algunos asuntos teóricos enunciados anteriormente, en estos dos ejemplos ya está presente el germen de la posterior evolución. La cuestión de la «tosquedad de los materiales» planteaba un problema ligado sobre todo a la definición de una «expresión formal» diferente. La imagen adquiere mayor entidad. Pero no sólo esto. A este respecto Frampton comenta con agudeza: «Pasarse a los materiales naturales y a los métodos primitivos tuvo consecuencias que fueron más allá de un simple cambio de técnica o de estilo superficial. Sobre todo significó abandonar el envoltorio clásico que se había usado en las villas de finales de los años veinte, en favor de una arquitectura basada en la fuerza expresiva de un único elemento tectónico, ya fuera una cubierta inclinada de un solo faldón sostenida por muros de carga o bien un megarón abovedado».[3]

Éste es un punto crucial sobre el que se centra el renovado impulso de Le Corbusier en los primeros años treinta. Los contenidos de la búsqueda arquitectónica de este periodo se pueden resumir sintéticamente en dos aspectos: el empleo articulado y contrastado de materiales diferentes, expresión de una voluntad de autonomía formal con respecto a los vínculos estilísticos impuestos por la ortodoxia vanguardista; y la búsqueda de una definición del proyecto que pasase a través de la exaltación de la carga expresiva de un solo elemento arquitectónico. En estos dos aspectos no resulta difícil reconocer elementos comunes con la expresión gaudiniana. Obviamente los resultados arquitectónicos se caracterizan por profundas diferencias pero, más allá de esto, en esta fase concreta de la historia de los proyectos de Le Corbusier, se puede encontrar una presencia directa de la enseñanza de Gaudí.

Algunas notas autógrafas consignadas en el cuaderno de apuntes, en concreto un dibujo realizado a propósito del proyecto para la casa Henfel en Celle de Saint Cloud, prueban claramente esta presencia. Con motivo de su estancia en Barcelona en 1928, Le Corbusier anotará en su cuaderno la disposición arquitectónica de la escuela de la Sagrada Familia (Fig. 1). En un segundo dibujo, realizado más arriba a la izquierda, se representa una sucesión de tres bóvedas vaídas apoyadas sobre una estructura modular de soportes puntuales. Le Corbusier escribe: «bóvedas sin encofrados con tejas planas de dimensiones 15 × 30 × 2,5 en tres capas sucesivas».[4]

En este dibujo se describe el primer encuentro de Le Corbusier con la construcción tabicada.

Es curioso señalar que la escuela de la Sagrada Familia representa la única obra de Gaudí redibujada por Le Corbusier. La admiración por la arquitectura gaudiniana surge con claridad a partir de las consideraciones reseñadas en el artículo de la *Veu de Catalunya* citado

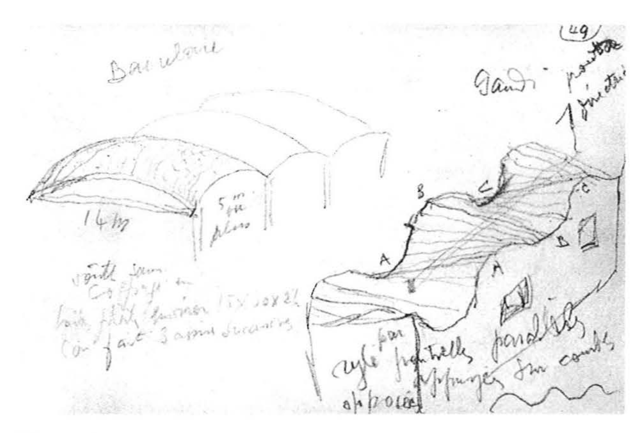


Figura 1
Le Corbusier, cuaderno de viaje C11, 1928

anteriormente. Pero lo le que suscitará mayor interés será este pequeño edificio, considerado una obra secundaria con respecto a la «magnificencia arquitectónica» del Templo Expiatorio. Sin embargo, las sintéticas notas registradas por Le Corbusier en el cuaderno proponen una posible hipótesis sobre el origen del interés personal: la singular e íntima relación que existe entre la expresión formal y el contenido constructivo.

El dato constructivo está representado por el empleo de una técnica tradicional, la construcción tabicada. El valor formal se obtiene de la utilización de un único elemento constructivo que define, según el orden impuesto por la geometría espacial del conoide, la configuración total de la organización arquitectónica.[5]

La fuerte carga expresiva que evoca esta arquitectura, cuya complejidad formal está negada por la esencialidad de su matriz geometrico-constructiva, dejará una huella precisa en la memoria de Le Corbusier. Las vicisitudes de la construcción de la casa Henfel en Celle de Saint Cloud de 1935, representan una confirmación evidente. Las diferentes fases del proyecto se encuentran en los dibujos preparatorios. La disposición en planta de la casa respecto a la parcela, de forma trapezoidal, era la única condición impuesta por los clientes. Las exigencias de privacidad impusieron la decisión de colocar la construcción en relación a un vértice del solar. También en este proyecto, en correspondencia con la línea seguida en los dos proyectos anteriores de las casas Errazuriz y Mandrot, Le Corbusier centrará su propuesta en el empleo de diferentes materiales naturales y productos prefabricados, y en la elección del elemento constructivo abovedado como principal generador de la forma arquitectónica.

Las primeras hipótesis ponen de manifiesto una cierta dificultad para proporcionar una respuesta clara a los intentos teóricos y, particularmente, las dos propuestas iniciales parecen un tanto singulares. Sobre una disposi-

ción triangular, con dos lados ciegos a la línea de la calle, se admite como hipótesis el empleo de una cubierta abovedada según dos configuraciones geométricas diferentes. Concretamente, en una lámina, al lado del primer dibujo de la planta, se representa un segundo apunte referente al análisis geométrico de la cubierta de la escuela de la Sagrada Familia. La intención, por tanto, se expresa claramente, pero su definición en términos arquitectónicos parece aproximada y condicionada por sugerencias que podríamos considerar de carácter «formalista».

La incompatibilidad geométrico-constructiva existente entre la forma del elemento abovedado de cubierta y la de la disposición planimétrica obligará a Le Corbusier a buscar nuevas soluciones al proyecto sin alterar, no obstante, dos de los aspectos característicos de la propuesta arquitectónica original: el empleo combinado de paredes de vitrocemento (GRC) con el muro de piedra; y la cubierta abovedada tapizada con tierra vegetal.

El primer empleo del elemento abovedado por parte de Le Corbusier se remonta al proyecto no realizado de la casa Monol de 1919. Las unidades de vivienda se disponían en cuadrícula y estaban realizadas con materiales y técnicas industrializadas. Las dificultades encontradas al relacionar el dato planimétrico con la geometría abovedada de la cubierta en la casa Henfel, llevaron a Le Corbusier a reelaborar la solución propuesta para las casas Monol y adaptarla al nuevo contexto. En un croquis se describe claramente este paso. La forma unitaria presente en los primeros bocetos se sustituye por un añadido de unidades volumétricas individuales, generadas compositivamente por la combinación de formas geométricas regulares, prismas con bóvedas cilíndricas superpuestas. Pero al lado de esta primera axonometría se representa una variante del mismo. Los muros, el parapeto, las bóvedas se inflan, se curvan, se liberan de la rigidez establecida por un orden geométrico regular. Encima del dibujo Le Corbusier escribe: *Casa Gaudí*. (FLC 9307) (Fig. 2)

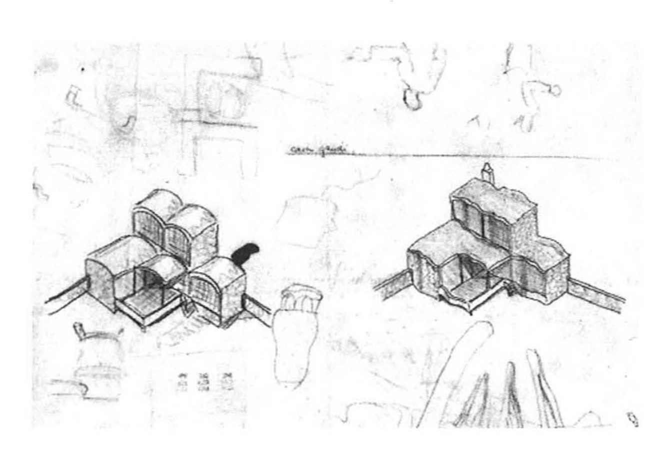


Figura 2
Le Corbusier, dibujo de estudio para el proyecto de la casa Henfel, 1935 (FLC 9307)

La nota no deja dudas sobre el origen de la referencia del proyecto. La carga expresiva y la fuerza evocadora grabada en la imagen latente de las Escuelas de la Sagrada Familia afloran de pronto en la mente y orientan el lápiz sobre el papel. En la solución definitiva no quedará huella de este momento emocional. La organización arquitectónica estará constituida por una sucesión de tres elementos abovedados dispuestos en un solo nivel. Las bóvedas se realizarán después en hormigón armado y se revestirán, en el interior, con paneles conglomerado curvado. (Fig. 3)

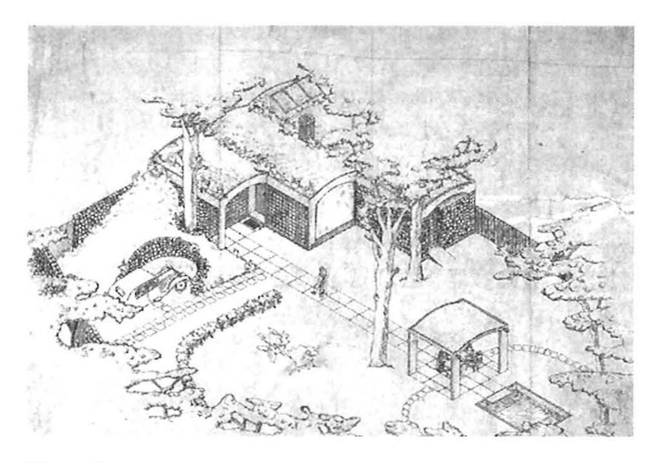


Figura 3
Le Corbusier, solución definitiva del proyecto de la casa Henfel, 1935

Pero en estos croquis, donde se comparan dos variantes formales de una misma solución arquitectónica, se describe perfectamente esa condición de «incertidumbre» y de «duda» a la que se ha hecho referencia anteriormente. Efectivamente, a partir de estas primeras experiencias de los años treinta, el interés de Le Corbusier por las expresiones propias de los «lenguajes espontáneos» y de la cultura popular será cada vez más acentuado. En este contexto de búsqueda, el elemento constructivo abovedado se convierte en una referencia arquitectónica constante y característica de la nueva orientación de los proyectos. Desde los proyectos no realizados de Cherchell (Africa, 1942), Saint-Baume (Marsella, 1949), Roq et Rob (Cap Martin, 1949) a la casa Fueter (Lago Constanza, 1950), a las casas Jaoul (Neuilly sur Seine, 1955) a la casa Sarabhai (Ahmedabad, 1955) y las *maisons des peons* (Chandigarh, 1955, no realizado).

Pero mientras en los primeros proyectos, el empleo de la cubierta abovedada responde sobre todo a una exigencia de orden formal-tipológico, como elemento que

caracteriza y distingue al tipo «mediterráneo», desde el proyecto de Saint Baume, el interés de Le Corbusier se orienta también hacia el estudio de las técnicas tradicionales como alternativa a las del hormigón armado. A treinta años de distancia de las sintéticas notas consignadas en el cuaderno de apuntes referentes a la cubierta abovedada de las Escuelas de la Sagrada Familia, la variante interpretativa de Le Corbusier de la bóveda tabicada, hará así su primera aparición en el proyecto de las casas Jaoul.

El encuentro de Le Corbusier con la tradición tabicada

Entre agosto y septiembre de 1950 Le Corbusier se halla en Bogotá. Acompañado de J.L. Sert, colaborador en el proyecto para el plan de la ciudad, visita las arquitecturas de un proyectista local, el arquitecto Pisano. En tres

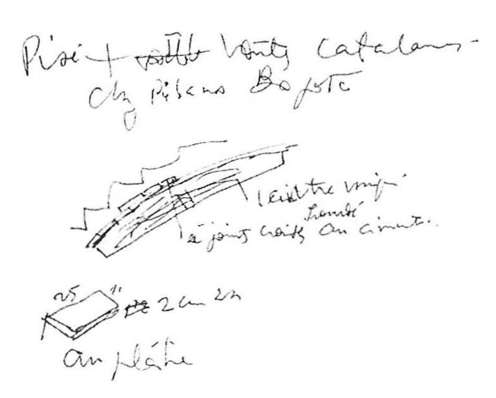


Figura 4
Le Corbusier, cuaderno D15, 1950

páginas del cuaderno se registran algunas notas sobre la técnica constructiva empleada por Pisano en su proyecto. En la primera Le Corbusier escribe: «*Pisè* + bóveda catalana. Casa de Pisano en Bogotá. 1 sola cimbra, estructura con juntas alternas de cemento y yeso».[6] Un dibujo más abajo representa una cimbra sobre la que se disponen dos estratos de ladrillos y el perfil apenas se señala con una escala. Debajo se anotan las dimensiones del ladrillo: 25 × 12 × 2 (Le Corbusier corrige la primera nota de 1,5 cm) (Fig. 4). Dos páginas más adelante, se descubre el objeto que había llamado la atención de Le Corbusier: una escalera, con perfil excéntrico, une los dos niveles superpuestos. Debajo, al lado de un croquis apenas esbozado, de tres bóvedas, se lee: «Para Saint Baume». (Fig. 5).

Efectivamente, durante estos meses Le Corbusier estaba ocupado en la redacción del proyecto para Saint

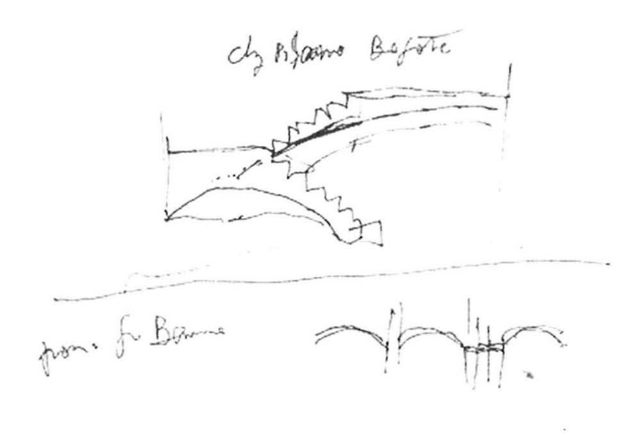


Figura 5
Le Corbusier, cuaderno D15, 1950. Boceto que representa la solución constructiva empleada por el arquitecto Pisano en Bogotá para realizar una escalera con bóveda tabicada

Baume. A su regreso Francia modificará el proyecto e introducirá, como elemento estructural de la cubierta, una bóveda tabicada cilíndrica[7]. En la tercera página del cuaderno se encuentran posteriores reflexiones sobre los modos de utilizar la técnica tabicada.[8] (Fig. 6)

No se puede afirmar con certeza si aquí le Corbusier estaba haciendo el levantamiento de una construcción existente o si ya estaba elaborando una solución de proyecto personal. No obstante, algunos indicios llevan a inclinarse por la segunda hipótesis. En la parte superior del dibujo se esboza una sucesión de cinco bóvedas. Al lado Le Corbusier anota: «3 hiladas de rasillas, a,b,=bocel de 20». Probablemente Le Corbusier estaba pensando en la posibilidad de agregar más módulos abovedados para obtener una unidad de vivienda dispuesta en damero. En efecto, más tarde empleará esta solución en el poblado del gobernador de Chandigarh.

En cambio, en el centro del dibujo, se representa el detalle del encuentro entre la bóveda y la estructura por-

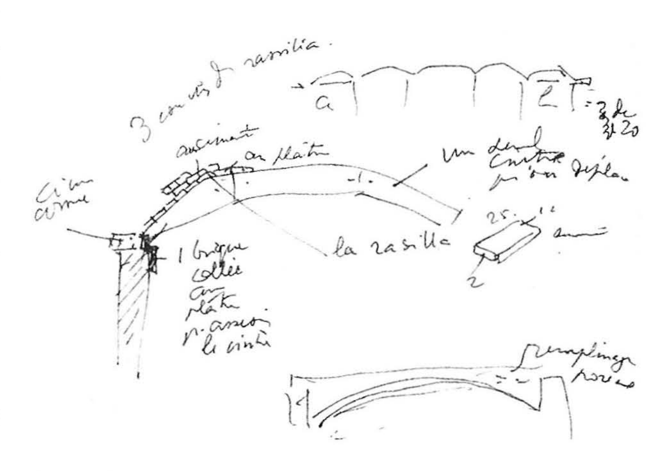


Figura 6
Le Corbusier, cuaderno E21, 1951

tante. Una viga de hormigón armado constituye la imposta de la bóveda. Sobre el retranqueo del paramento del muro se halla el apoyo de la cimbra que sostiene tres hiladas de ladrillo. La primera realizada con yeso, las otras dos con cemento. Al lado se lee: «un muro de ladrillo con yeso para asegurar el anclaje de la cimbra». Debajo está dibujado un perfil de bóveda reforzado por el tradós con «*remplissage poreux*», relleno poroso. En estas notas se describen expresamente algunas soluciones constructivas utilizadas después en las casas Jaoul y Sarabhai, a las que se hace referencia a continuación. El proyecto para Saint Baume no se realizará. Pero el interés y la curiosidad de Le Corbusier por esta peculiar técnica constructiva lo acompañará durante los años siguientes.

Con motivo del congreso del CIAM de 1951, que se celebró en Hoddesdon, Inglaterra, del 9 al 14 de julio, Le Corbusier se encontrará con Sert de nuevo. También en este caso el cuaderno de apuntes registra las reflexiones de le Corbusier que escribe: «bóvedas catalanas, Sert, Escorsa, 48 Bd. de Geneve, Béziers –9 julio 51-29, 14, 1,5 = ladrillo yeso-15 cm/m – cera debajo, cimbra

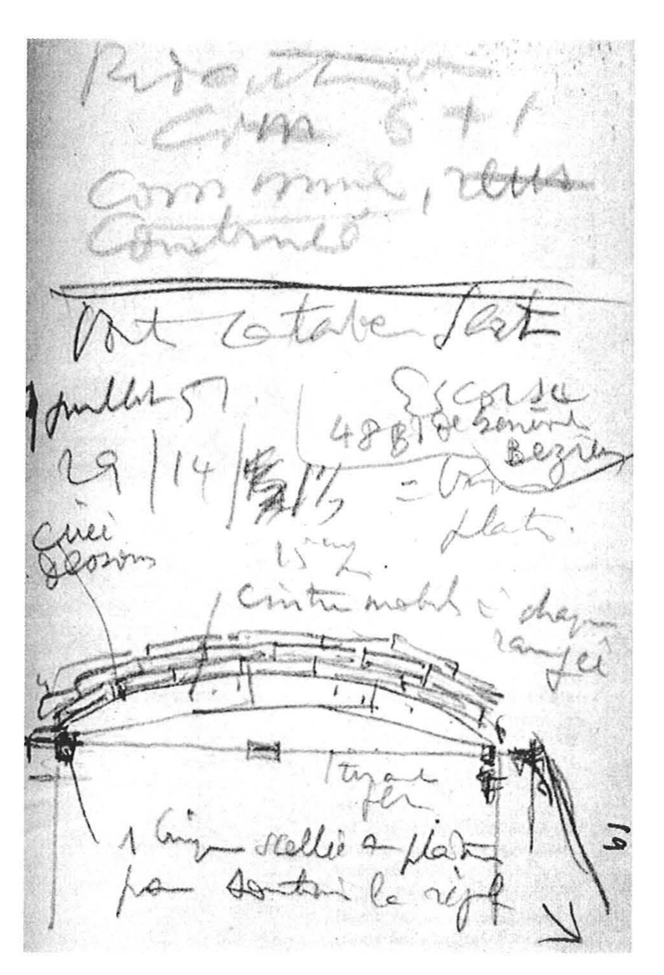


Figura 7
Le Corbusier, cuaderno E21, 1951

móvil cada fila, tirante de hierro, 1 ladrillo fijado con yeso para sostener el listel».[9] (Fig. 7) Sert proporcionó a Le Corbusier el nombre de Domènech Escorsa, un maestro de obra catalán emigrado a Francia, como experto en el empleo de la técnica tabicada. De ahora en adelante la historia de la bóveda catalana en la arquitectura de Le Corbusier hace referencia, continuamente, al nombre de Domènech Escorsa.

En las siguientes páginas del mismo cuaderno transcribe unas interesantes notas posteriores.

Se lee: «empleo de ladrillos, *plafonnettes au parafeuills*, se encuentran igual en París». Más adelante: «el primer estrato sin revoco. 2º tipo (representada una bóveda vaída denominada "volta bufadas") no para la Jaoul». Otros bocetos describen el aparejo de los tres estratos. Probablemente Le Corbusier estaba reflexionando sobre la utilización de la técnica tabicada en el proyecto de las casas Jaoul. El encargo se le había confiado ya pocos días antes, en junio de 1951.[10] A su regreso de Inglaterra contacta inmediatamente con Escorsa, en esa época colaborador en el estudio de su primo Jeanneret.[11]

Así se inicia la historia común de tres proyectos –Jaoul, Sarabhai, Poblado del Gobernador en Chandigarh- con la técnica tabicada.

Tres arquitecturas, una técnica

El proyecto definitivo de las casas Jaoul está fechado en 1952. Pero en 1937 Le Corbusier ya había recibido un primer encargo del Sr. Jaoul. El proyecto redactado en aquel momento es sustancialmente distinto del realizado después. La organización en planta del proyecto de 1937 tenía claras referencias al precedente de la Villa Saboya: planta libre, paseo arquitectónico, ventanas corridas, pilotis. Sin embargo, la imagen lisa y blanca del revoco había desaparecido; en su lugar había aquella superficie áspera de tablas de madera insertadas en un esqueleto de troncos delgados. (Fig. 8)

En 1937 llega el estudio de Le Corbusier, para hacer prácticas, un joven arquitecto catalán, Antonio Bonet.[12] Le Corbusier acababa de terminar la primera propuesta para la casa Jaoul. Bonet recuerda el encuentro con Le Corbusier así: «[...] ya cuando estaba en Barcelona percibía intensamente la influencia del surrealismo en la pintura, influencia que estaba trasladando a la arquitectura. Esto surgió en una conversación con Le Corbusier, que se mostró muy interesado. En aquel momento acababa de terminar el proyecto para la casa Jaoul. Me encargó que redactara un segundo proyecto, según la arquitectura racionalista, la libertad creadora propia del movimiento surrealista. Realicé un proyecto muy revolucionario, al que Le Corbusier no se opuso».[13] La res-

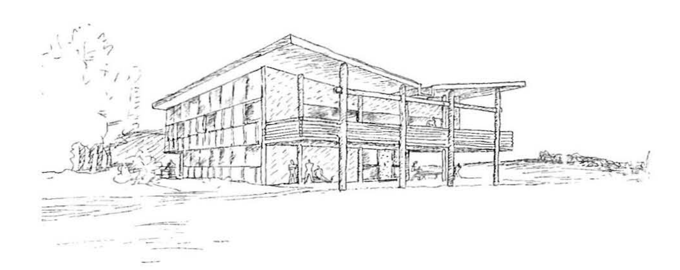


Figura 8
Le Corbusier, proyecto para la casa Jaoul, 1937

puesta de Bonet se resume en tres láminas coloreadas. Figuras de coches de la época, bailarinas danzando y personajes famosos se confunden, en el ilimitado mundo de la imaginación, con la arquitectura dibujada. (Fig. 9)

Pero más allá del «sueño», desde el punto de vista arquitectónico, surge con claridad la voluntad de combinar, por «contraste», elementos pertenecientes al vocabulario racionalista con las figuras «sinuosas» que celebran la liberación del rígido esquematismo impuesto por los «estándares». El perfil ondulado de la cubierta se «apoya» sobre una ligera trama de pilares y vigas de diferentes colores. En el proyecto realizado por Le Corbusier 15 años después, no hay rastro de la propuesta de Bonet con excepción –quizá sólo por casualidad- del elemento abovedado de la cubierta.

En 1939 Bonet deja el estudio de Le Corbusier y se traslada a Argentina. Las relaciones entre los dos arquitectos se interrumpen, pero no los respectivos caminos de búsqueda que correrán en vías paralelas. En efecto, es sorprendente observar la presencia de relevantes analogías entre el proyecto de Bonet para las viviendas Martínez en Buenos Aires y las casas Jaoul de Le Corbusier. (Fig. 10)

Las referencias lingüísticas, arquitectónicas y constructivas, ponen de manifiesto numerosas características comunes: muros portantes de ladrillo visto, testeros cerrados con particiones ligeras de vidrio y madera, cubiertas con bóvedas rebajadas insertas entre dos vigas longitudinales de hormigón armado visto.

Sin embargo una sustancial diferencia tiene que ver con la situación temporal. El proyecto de Bonet está fechado en 1942, por tanto es de diez años antes que el de Le Corbusier. La construcción de las casas Jaoul se inicia en 1953 y se termina en 1955.[14] La organización arquitectónica se ordena de acuerdo a las medidas establecidas por el Modulor: 2,26 y 3,66 m. la dimensión de la luz entre los muros portantes; 2,26 m. la altura del arranque de la bóveda.

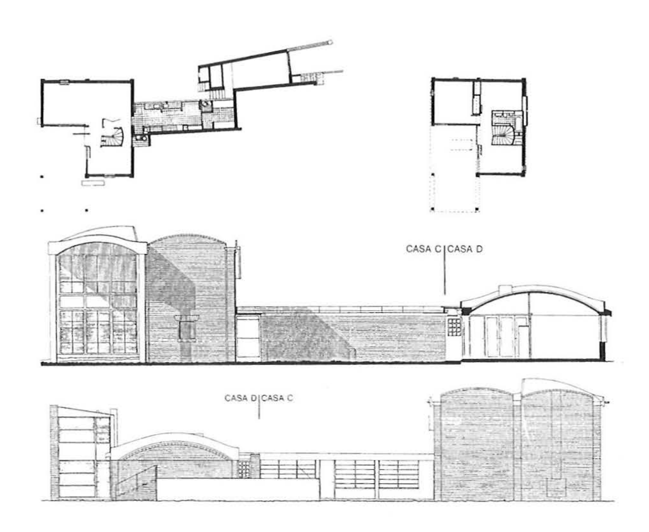


Figura 10
A. Bonet, proyecto de la casa Martínez, Buenos Aires, 1941

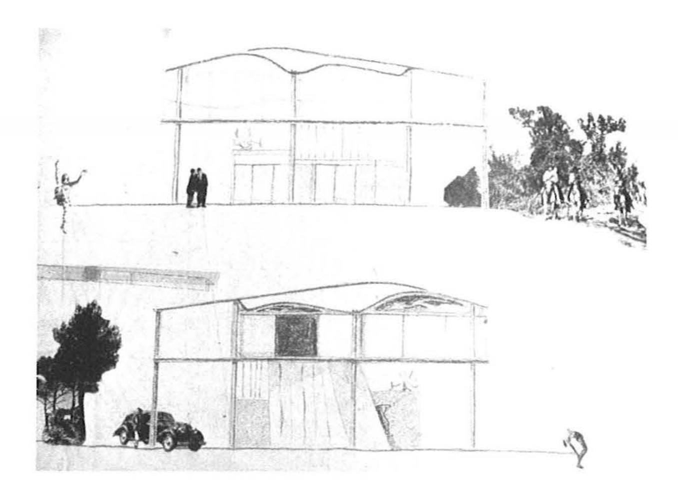


Figura 9
A. Bonet, dibujo de estudio para el proyecto de la casa Jaoul, 1937

La definición geométrica y constructiva de las bóvedas fue objeto de una atención especial. La solución definitiva sólo llegará después de una serie de elaborados estudios preliminares. Entre los primeros meses de 1952 y el final de 1953 Le Corbusier está realizando al mismo tiempo el proyecto de tres viviendas: las casas Jaoul, la casa Sarabhai y las *maisons des peons* para el poblado del Gobernador de Chandigarh. La solución constructiva de las bóvedas tabicadas será la hipótesis de los tres proyectos. Le Corbusier y Pierre Jeanneret, colaboradores en el proyecto de Chandigarh, mantienen frecuentes contactos con Escorsa para recabar aclaraciones, posteriores y más precisas, sobre cómo utilizar la técnica tabicada.

Analizando los documentos de archivo, tratemos de reconstruir algunos pasajes significativos de esta particular historia constructiva, que afecta a la realización

coetánea de tres proyectos diferentes. Jeanneret se encuentra en la India desde 1951 para dirigir las obras de Chandigarh. El 21 de febrero de 1953 se fecha la carta de Domènech Escorsa a Pierre Jeanneret:[15] «la otra semana estuve en París. Una vez más Le Corbusier me ha hecho preguntas sobre los detalles de la bóveda catalana. Con anterioridad ya le había proporcionado explicaciones al joven que trabaja en el estudio[16] y, como a caminar se aprende caminando, en casa del empresario Bertochi y en presencia de Le Corbusier y de sus «chicos», he construido una bóveda catalana con mis propias manos. Espero que lo hayan entendido. Por otra parte, he hecho esta demostración porque con ellos estaba también Jean Lois Veret, y creo que él irá pronto a la India. También le he hecho trabajar con sus manos».

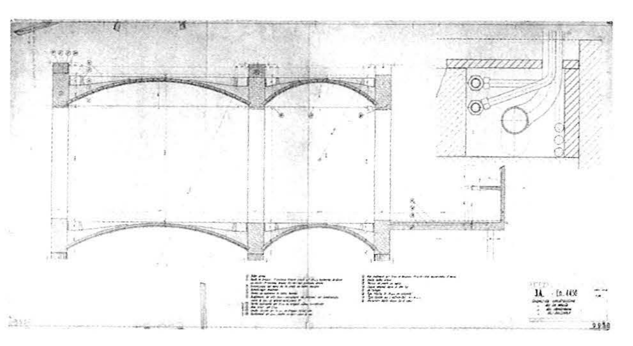


Figura 11
Le Corbusier, dibujos de ejecución de las bóvedas de la casa Jaoul (FLC 9930)

El tono con el que Escorsa describe el episodio da a entender que Le Corbusier todavía no había comprendido totalmente las peculiares características constructivas y de puesta en obra de la técnica tabicada. Como veremos, en realidad para Le Corbusier el problema era sustancialmente distinto. Volveremos enseguida sobre este asunto después de desarrollar algunas consideraciones previas.

La solución definitiva de los detalles de las bóvedas de las casas Jaoul está representada en una lámina fechada el 13 de noviembre de 1953, con la firma del colaborador en el proyecto, el arquitecto Michel (FLC 29614). Posteriormente se realizarán otros dos planos/láminas de ejecución con una descripción más precisa de los materiales empleados y de los detalles constructivos. (FLC 9930) (Fig. 11). Pero el camino recorrido por Le Corbusier antes de llegar a la solución definitiva estará jalonado por numerosas fases intermedias de las que quedan testimonios en las notas y dibujos, alguna vez tan sólo apuntes esbozados, que realizó entre 1951 y 1952. Las láminas (FLC 10091-10092-10094) no tienen fecha. Pero los contenidos de los dibujos y las notas aquí referidas inducen a pensar que han sido redactados en relación con la carta de Le Corbusier a Escorsa del 21 de julio de 1951, citada anteriormente.

En el documento FLC 10094 (Fig. 12) se analizan, consecutivamente, el problema del apoyo de la bóveda sobre los muros portantes internos, los arquitrabes de hormigón armado, los arquitrabes realizados con viguetas IPN, aisladas y pareadas, colocadas a ejes respecto a los muros, las vigas de hormigón armado insertas en el muro externo y, finalmente, se describe el aparejo constructivo del primer estrato, llevado a cabo con el sistema «en espiga a la catalana» (*a mezcla*) y «ordinario» con las juntas continuas a lo largo de las generatrices. Arriba a la derecha se lee: «Se pueden hacer bóvedas con tres estratos si se utilizan ladrillos delgados (2 cm) "*parafeuills au plaffonettes.*" Es más cómodo si se realiza con

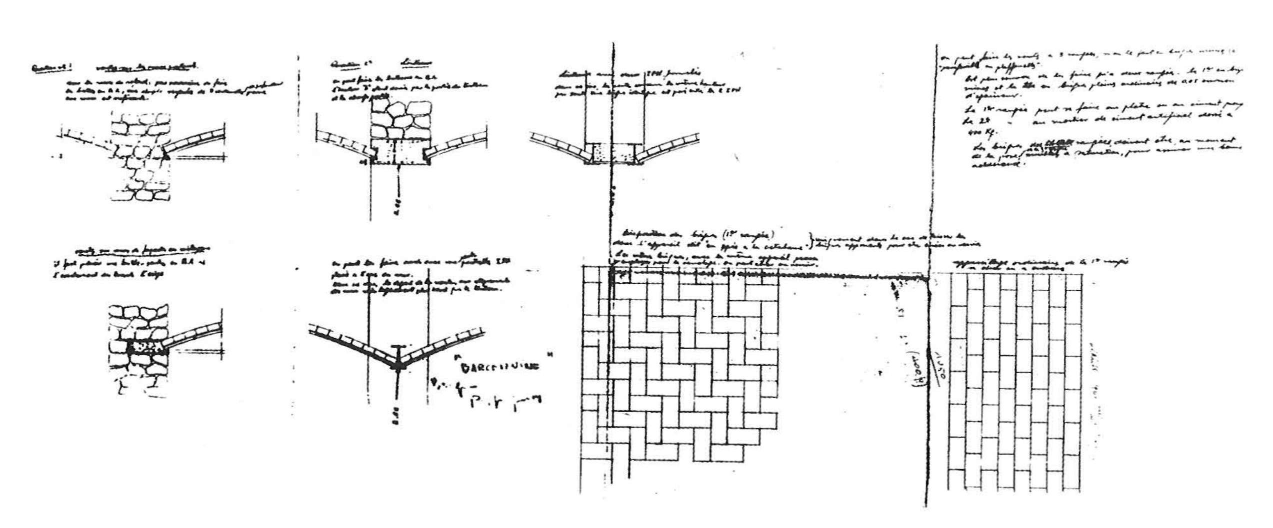


Figura 12
Le Corbusier, lámina FLC 10094

dos estratos sólo. El primero con piezas cerámicas delgadas y el segundo con ladrillos macizos ordinarios de 5 cm de espesor. El primer estrato se rejunta con yeso o cemento rápido. El siguiente con mortero de cemento preparado a 400 kg. En el momento de colocar el segundo estrato, las piezas de los dos estratos deben estar mojadas hasta la saturación para obtener una mayor adherencia».

En estas consideraciones está presente una primera e importante cuestión sobre la que es oportuno detenerse. Le Corbusier compara dos sistemas: el tradicional de tres estratos superpuestos y el de dos estratos, realizados con materiales diferentes, señalado por él mismo como el «más cómodo». Sobre esta diferencia, que en principio podría parecer insignificante pero que en cambio se demuestra sustancial, se condensa la peculiar variante en la interpretación de la construcción tabicada propuesta por Le Corbusier.

Las bóvedas empleadas por Le Corbusier en los proyectos de las casas Jaoul y Sarabhai y las *maisons des peons* de Chandigarh, en realidad no son bóvedas catalanas, o mejor dicho, bóvedas tabicadas. La hipótesis constructiva propuesta por Le Corbusier se entiende como solución intermedia entre el sistema en hormigón, empleado en la antigüedad por los constructores romanos, y el propio de la técnica tabicada. En efecto en las bóvedas de Le Corbusier, la primera hilada, realizada sin la ayuda de cimbras como prevé el sistema tabicado, no se puede considerar totalmente colaboradora con la segunda. Los requisitos fundamentales, reasumibles en el concepto de cohesividad estructural enunciado por Guastavino, sólo se satisfacen parcialmente. En síntesis: la regla esencial del desfase relativo entre las juntas de las dos capas no se respeta; la cantidad de mortero no está relacionada con la dimensión de los ladrillos; el relleno realizado en el trasdós, con hormigón aligerado, modifica sustancialmente el comportamiento estructural de la bóveda, cuya sección resistente comprende también la zona del refuerzo.

El hecho de que Le Corbusier considerase la estructura de ladrillo (sustancialmente) como encofrado perdido, con una reducida capacidad resistente, resulta confirmado, posteriormente, por algunas notas explícitas autógrafas. En dos hojas, una con las siglas del Hotel Continental de Bogotá, y la otra encabezada con su nombre, fechadas el 11 de mayo de 1951 (FLC 5484) (Fig. 13), se transcriben algunos apuntes relativos al proyecto para las *maisons des peons* de Chandigarh. Refiriéndose a un proyecto de Pisano en Bogotá, Le Corbusier reflexionaba sobre algunas cuestiones del proyecto. Por lo tanto, se afrontaban las problemáticas concernientes a la disposición planimétrica de las viviendas, las relativas a las particulares condiciones climáticas y, por consiguiente, a la posibilidad de colocar

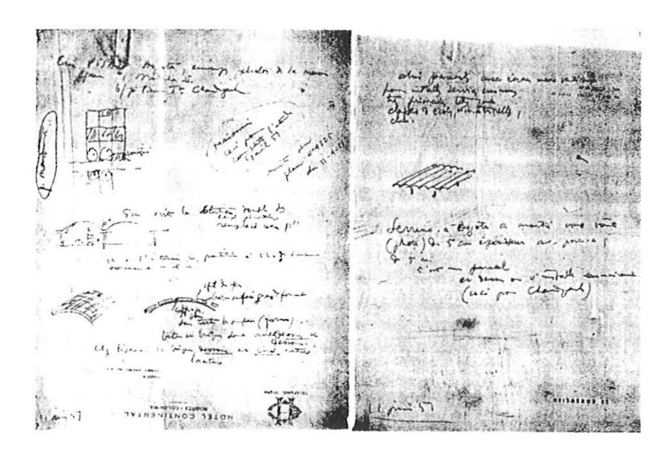


Figura 13
Le Corbusier, hojas de apuntes fechados el 11 de mayo de 1951 (FLC 5484)

un parasol en la cubierta, las referentes a la organización dimensional de los alojamientos según la medida de 2,26, establecida por el Modulor y, finalmente, se describe una hipótesis constructiva para realizar bóvedas de ladrillo.

En dos pequeñas axonometrías, se expresan las consideraciones de Le Corbusier: los dos estratos de la bóveda están divididos claramente; sobre el primero está escrito «encofrado». Arriba: «ladrillos de gran formato». Entre los ladrillos del segundo estrato aparece una anotacón con la referencia descriptiva correspondiente: «cable de hierro». El dibujo axonométrico que se encuentra al lado aclara mejor la hipótesis constructiva. En el tradós del primer estrato, y ahogada entre las juntas del segundo, hay una malla de redondos de hierro. Esta solución no se adoptará en los sucesivos proyectos de la Jaoul y la Sarabhai. Pero lo que parece oportuno es poner de manifiesto el intento de Le Corbusier, ya desde 1951, de mediar las posibilidades estructurales que ofrece la tecnología moderna, la del hormigón armado, con la cualidad expresiva que se obtiene mediante el uso de un elemento constructivo realizado según un procedimiento de tipo artesanal.

Este desdoblamiento, entre contenidos constructivo-estructurales y representación formal, se confirma posteriormente con otras notas relativas al predimensionamiento estructural de las impostas de las bóvedas de las casas Jaoul, fechadas en septiembre de 1951. El procedimiento llevado a cabo se atiene a la aplicación de fórmulas sencillas, deducidas de la teoría elástica de las estructuras de hormigón armado. Efectivamente, en estas verificaciones estructurales no se considera la colaboración de la resistencia del ladrillo. El esquema estático de toda la configuración abovedada se asimila al de un arco de hormigón con un tirante por debajo para contrarrestar el empuje horizontal. Un esquema estático in-

diferente a las peculiares respuestas estructurales generadas por el empleo del tradicional sistema constructivo tabicado. Por tanto Le Corbusier sustrae el valor constructivo a la técnica original. Lo que queda sobre todo es su expresión formal.

En otros apuntes fechados el 15 de enero de 1952 referentes al proyecto de las *maisons des peons* de Chandigarh (110 mq), se registra el mismo procedimiento de verificación estática. En ellos, además del análisis de las cuestiones estructurales, también se transcriben otras anotaciones importantes relativas al estudio de las soluciones (de proyecto) idóneas encaminadas a resolver las desfavorables condiciones ambientales de la región hindú. En una serie de pequeños dibujos, con fecha de 17 y 23 de enero de 1952 (FLC 5625), se representan algunas hipótesis sobre el empleo de estructuras metálicas, planas o con faldones inclinados, alojadas sobre la cubierta abovedada. Esta solución constructiva se adoptará en el proyecto para las *maisons des peons* de Chandigarh, no realizado. Pero en estos mismos meses, Le Corbusier está ocupado también con el proyecto de la casa Sarabhai, donde preferirá la solución de la terraza ajardinada, la misma que emplea en las casas Jaoul, en vez de la hipótesis del *brise-soleil*.

Las ideas que fundamentales del proyecto ya están asumidas en la primera lámina de estudio fechada el 7 de marzo de 1952 (FLC 6676). Para satisfacer las necesidades de una buena ventilación de los espacios interiores, la disposición de la planta se organiza según una sucesión de módulos abovedados de 3,66 m. de luz, dispuestos paralelamente a la dirección del viento dominante. Como es habitual, Le Corbusier escribe, junto a los dibujos, algunas notas descriptivas. El problema constructivo de las bóvedas se afronta rápidamente en dos bocetos sintéticos. Le Corbusier piensa utilizar piezas cuadradas (18x18 cm) como estructura del primer estrato. Al lado de la sección, una breve nota hace referencia al problema de la dimensión de las impostas.[17] En febrero de 1953, aproximadamente un año después de la redacción de la primera solución, se termina el proyecto de la casa Sarabhai. En los elaborados con fecha de 20 de febrero de 1953 se representan los dibujos de los detalles de ejecución de las bóvedas (FLC 6942).

La comparación entre este proyecto y el coetáneo de las casas Jaoul pone de manifiesto la presencia de características tipológicas y constructivas comunes. Las bóvedas se llevan a cabo con el mismo sistema: con dos estratos, el primero realizado con ladrillos cuadrados de 2 cm de espesor y el segundo con bloques perforados de hormigón aligerado de 5 cm; los detalles del encuentro de las bóvedas con las vigas de hormigón armado son análogos constructivamente, así como la ejecución del refuerzo lateral con material poroso y el manto de cubrición de tierra vegetal; en ambos proyectos la disposición planimétrica y espacial se organiza según las medidas fijadas por el Modulor, 3,66 y 2,26 m. Particularmente, lo que surge con claridad de esta comparación, que se puede extender también al proyecto de Chandigarh, en principio tiene que ver con el intento de Le Corbusier de definir un «modelo» arquitectónico y constructivo adaptable a diferentes contextos. De esta manera, la reelaboración de una técnica artesanal adquiere un significado que supera la simple actualización de los «lenguajes espontáneos».

Por tanto, en las hipótesis de simplificación del organismo arquitectónico mediante la combinación de unidades volumétricas aisladas, predeterminadas tipológica y dimensionalmente, herencia inherente a la ideología racionalista, se inserta un nuevo interés por la cualidad expresiva de las formas y las técnicas de origen artesanal. Volviendo a la cuestión planteada anteriormente con respecto a los contenidos de la carta de Escorsa del 21 de febrero de 1953, en la que parece entenderse que Le Corbusier no tenía claro todavía las peculiaridades constructivas de la técnica tabicada, ahora se pueden avanzar algunas consideraciones más.

Los elaborados para la ejecución de la casa Sarabhai tienen fecha de 20 de febrero de 1953. Por tanto están realizados antes del encuentro entre Escorsa y Le Corbusier, acaecido en estos mismos días. Pero el interés por esta técnica constructiva madurado por Le Corbusier, había superado ya los límites de una propuesta rigurosa y filológica en ese momento. Evidentemente, su intención era otra. Como él mismo había declarado,[18] la investigación consistía fundamentalmente en la puesta a punto de un procedimiento constructivo que permitiera, ya fuese moderar los costes de ejecución utilizando materiales como bloques perforados de hormigón de producción normalizada, ya mantener inalterado el resultado formal derivado de la utilización de la técnica tabicada tradicional.[19] Los plazos previstos para la intervención se postergaron después a 1954 y al final el proyecto no se realizó.

En una lámina de ejecución con fecha de 4 de mayo de 1954 (FLC 29112), se halla una nota descriptiva que comenta los dibujos de los detalles de las bóvedas. (Fig. 14) Se proporcionan dos soluciones constructivas diferentes: una con dos estratos realizados sin utilizar encofrados, con ladrillos de 2 cm, unidos con yeso, y de 7 cm recibidos con cemento. En la segunda se emplea una cimbra fija y un solo estrato de ladrillos de 7 cm de espesor, puestos en obra con cemento. En la parte inferior de la nota se solicita un presupuesto para ambos sistemas descritos.[20]

A las incertidumbres expresadas por Jeanneret, Le Corbusier dará respuesta unos meses después con la realización de los proyectos de las casas Jaoul y Sarabhai. Estas dos obras inician y terminan la experiencia de las

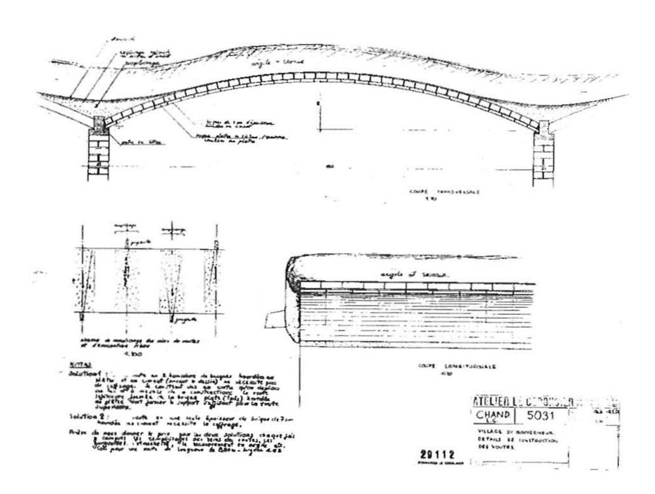


Figura 14
Le Corbusier, *Village du Gouverneur* en Chandigarh,detalles de las bóvedas, 4 de mayo de 1954 (FLC 29112)

bóvedas catalanas en la arquitectura de Le Corbusier pero, al mismo tiempo y con la única excepción de la Villa Shodhan de 1956, también se termina la investigación de Le Corbusier sobre la vivienda unifamiliar. Después de esta fecha, los esfuerzos de Le Corbusier se encaminarán, exclusivamente, a las intervenciones a gran escala.

En cualquier caso, la historia constructiva de la bóveda catalana representa un momento significativo en el ámbito de la experiencia arquitectónica de Le Corbusier de estos años. En esta historia se conserva un importante pasaje del gradual proceso evolutivo que une la primera fase de crítica de los principios teóricos del purismo con la del «lirismo escultórico» de la Capilla de Ronchamp, treinta años posterior. La intención de Le Corbusier de utilizar una técnica constructiva que fuese económica y, al mismo tiempo, permitiese no alterar la cualidad formal y expresiva de la pieza producida artesanalmente, pertenece directamente a esta delicada fase de transición.

De acuerdo con esta interpretación, la distancia entre el proyecto para las casas Monol de 1919, pasando por la experiencia de la casa Henfel de 1935, de los proyectos para la Jaoul, la Sarabhai y el poblado del Gobernador de Chandigarh, parece menos importante. Las hipótesis sobre la utilización de procedimientos industrializados enunciadas en las proclamas teóricas de los años 20, las sustituyen, gradualmente, el interés por la cualidad expresiva de los materiales naturales y una renovada atención hacia las técnicas constructivas tradicionales.

Pero el legado producido por la investigación del primer periodo será, en cualquier caso, una herencia presente también en la siguiente fase evolutiva. Por ejemplo, en el ámbito de nuestro análisis específico, un aspecto que une la experiencia de las casas Monol o Henfel con la de los proyectos de los años 50 se identifica en el empleo recurrente de una sola «unidad volumétrica» como elemento básico de la organización de la totalidad arquitectónica. Esta «unidad volumétrica» se caracteriza, desde el punto de vista tipológico, por el empleo de una estructura abovedada sobre muros portantes y, dimensionalmente, por las medidas establecidas por el Modulor. Es en este «orden proyectual» donde se inserta la investigación de la «forma expresiva» de la que habla Frampton.[24]

En este sentido la elección de Le Corbusier de adoptar una técnica alternativa a la del hormigón armado se puede reconducir a la voluntad de caracterizar formalmente, a través del empleo de un elemento muy peculiar, una organización arquitectónica que, de otro modo, estaría ordenada según una estéril composición seriada de unidades modulares aisladas. La carga evocadora y la fuerza expresiva de esa forma, que en 1928 había suscitado la atención y el interés de Le Corbusier, la Escuela de la Sagrada Familia, efectivamente dejará una marca precisa e indeleble en la memoria.

Durante el viaje a Boston, en septiembre de 1960, Le Corbusier anota en su cuaderno una idea para el Secretariado de Chandigarh.[25] Dispone tres espacios en secuencia. Al lado del primero, el definido como atrio, Le Corbusier escribe el nombre de Gaudí. (Fig. 15). Una vez más los recuerdos evocan la arquitectura de la Escuela de la Sagrada Familia, que se vuelve a proponer. La fascinación ejercida por la forma sinuosa de la cubierta sugestiona la fantasía de Le Corbusier de nuevo, a casi treinta años de distancia de su primer encuentro. Es quizá sobre todo en este aspecto de orden formal, más que en el propiamente técnico, donde se reconoce el interés de Le Corbusier por los resultados arquitectónicos obtenidos con la construcción tabicada. (Fig. 16)

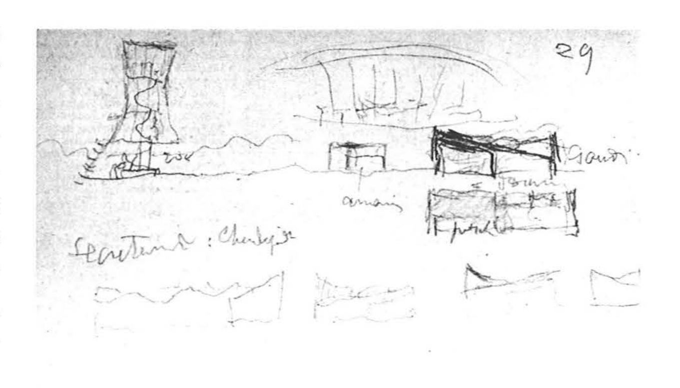


Figura 15
Le Corbusier, cuaderno P61, 1960

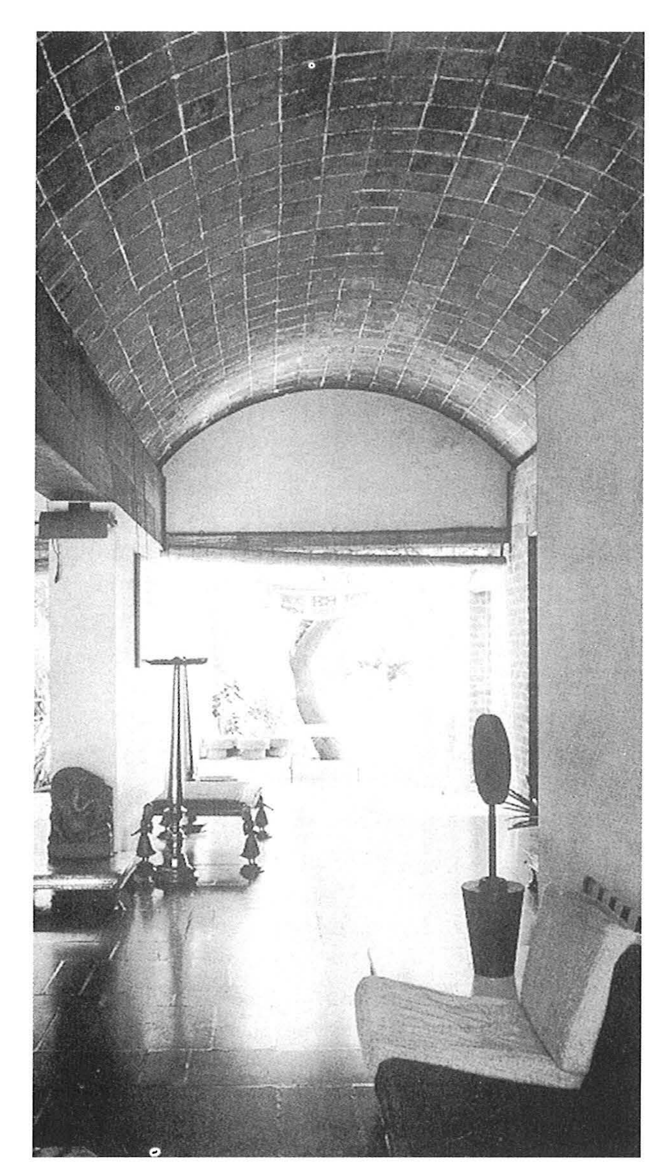


Figura 16
Le Corbusier, interior de la casa Jaoul donde se ve el intradós de la bóveda

Si para Gaudí la bóveda tabicada representaba la expresión rigurosa de «una forma lógica surgida de la necesidad», proponiéndola ante todo como solución técnica a una instancia precisa del proyecto, y para Rafael Guastavino el empleo de la construcción tabicada respondía a la primera exigencia de cubrir grandes luces con un elemento constructivo ligero, económico y con una elevada resistencia al fuego, en Le Corbusier las posibilidades constructivas del sistema se reducirán sustancialmente, y estarán muy condicionadas por opciones de carácter formal. También en esta historia, como en el caso de la experiencia de los años 20, se preservará la imagen de la «técnica».

Pero detrás de ésta, vive otra verdad oculta a la mirada.

Notas

1. Fragmento extraído del prólogo redactado por Le Corbusier para el libro de Joan Prats y Joachim Gomis, *Encuentro con la obra de Gaudí*, Fotoscop, Edicións La Pòlígrafica, Barcelona, 1957.
2. Artículo redactado con la firma de Marius Gifreda, con el título «Le Corbusier en Barcelona. El célebre arquitecto comenta la ciutat», 1928.
3. Joan Prats, *Encuentro con la obra de Gaudí*.
4. Sobre la relación entre expresión formal y realidad tecnológica en la arquitectura de Le Corbusier véase John Winter, «Le Corbusier Technological dilemma», *A&V*, 10 (1987).
5. Le Corbusier, *Oeuvre complète, 1929–1934*, 4° edición, 1947, 48.
6. Kenneth Frampton, *Historia crítica de la arquitectura moderna*, 9°ed., Ed. Gustavo Gili, 1998, 227.
7. Cuaderno de viaje, C 11, 1928.
8. A propósito de esto, Roberto Pane observa: «...Pocas veces la disposición estructural se identifica con el valor expresivo como en este caso, en el que la cubierta y las paredes verticales se subordinana recíprocamente, ya sea como estructura o como génesis geométrica». Roberto Pane, *Antoni Gaudí*, ed. Comunitá, 1981, 212.
9. Cuaderno de viaje D15, 1950.
10. Fernando Marzá, Esteve Roca en AA.VV, *Le Corbusier y Barcelona*, Fundaciò Caixa de Catalunya, 1988, 113. «El proyecto estaba pensado inicialmente con bóvedas de hormigón armado y sólo después del viaje a Bogotá Le Corbusier decide emplear bóvedas catalanas».
11. Cuaderno de viaje D15, 1950.
12. Cuaderno de viaje E21, 1951.
13. !nformación extraída de Gilles Ragot, Mathilde Dion, *Le Corbusier en France, Réalisations et projets*, París, 1987, 110.
14. En una carta fechada el 26 de julio de 1951 se lee: «Señor Escorsa, he aquí una nota (más bien aproximada) concerniente a mis preguntas sobre la bóveda catalana. Le resumo:

    1– ¿Cuál es el comportamiento de la bóveda con respecto a los muros portantes?

    2- ¿Cuál es el comportamiento en relación con las zonas arquitrabadas de 1,13 m, 2,16 m, 1,83 m y 3,66 m de luz?

    3- En Bogotá el arquitecto Pisano ha construido bóvedas de ladrillo enlucidas con cera transparente. ¿Se pueden utilizar productos franceses?

    4- ¿Qué ladrillo hay que emplear para el 1°, 2°, 3° estado?. ¿Quién los puede proporcionar? ¿Conoce albañiles catalanes que puedan realizar el trabajo en París y alguien que pueda dirigir la ejecución de las obras?

    5- ¿Cómo se realiza el contrafuerte en los riñones de la bóveda?

    6- ¿Qué tipo de pavimento se utiliza normalmente y cuáles son los máximos valores de la sobrecarga del estrato de fondo que puede soportar la bóveda?». Citada en *Le Corbusier y Barcelona*, 105.
15. Antonio Bonet (Barcelona 1913) se forma en el estudio de J.L. Sert y Torres Clavé con quien colabora, siendo

aún estudiante, desde 1932. Juntos fundaron la asociación MIDVA (Muebles y decoración para la vivienda contemporánea). Con motivo del CIAM de 1933, estando a bordo del Patris, Bonet, en esa época todavía estudiante, conoce a Le Corbusier. La promesa de realizar las prácticas en el estudio de Le Corbusier se verá cumplida en 1937, recién terminados sus estudios. Bonet permanecerá en el estudio parisino durante dos años, hasta 1939. Posteriormente, junto con otros dos colegas argentinos, se trasladará a Sudamérica, donde continuará su actividad.

16. Fragmento extraído de *Antonio Bonet y Río de la Plata*, Catálogo de la Exposición. CRC, Barcelona, 1987, 40.
17. Debido a las dificultades económicas ocasionadas por la muerte prematura de André Jaoul, acaecida en 1954, las obras se interrumpieron temporalmente durante aquel año y se reanudaron en 1955. A este respecto véase G. Ragot, M. Dion, *Le Corbusier en France,* 110.
18. Véase *Le Corbusier y Barcelona*, 112.
19. Probablemente se trataba del arquitecto Michel que colaboraba con Le Corbusier en la realización de los detalles de las casas Jaoul.
20. La anotación no se descifra claramente y sólo se puede asignar un significado comprensible a dos palabras: predimensionamiento – Jaoul. (Véase hoja FLC 6676)
21. Se refiere a la nota registrada en la lámina FLC 10094 con respecto a la comparación entre el sistema tradicional con tres estratos y la hipótesis de Le Corbusier con el empleo de materiales de producción usual.
22. También se concentra sobre el mismo problema la atención de Pierre Jeanneret. En una carta fechada el 23 de noviembre de 1952 invita a Escorsa a la India, Jeanneret escribe: «Una petición importantísima, te pido que me respondas enseguida por carta. ¿Podrías enviarme algunos detalles y bocetos sobre como se construye la bóveda catalana? a) Las dimensiones admisibles de los ladrillos; b) El modo de colocarlos (espesor); c) Cómo evitar el empleo de encofrados; d) Cómo eliminar los empujes; e) Si se debe usar cemento o yeso; f) Descripción del aislamiento térmico necesario [...] pero atención, es extremadamente urgente, ya que se deben cubrir trescientos espacios de este tipo en tres semanas [...]». Véase *Le Corbusier y Barcelona*, 111.
23. Después se proporcionará Jeanneret una indicación en este sentido, en una misiva fechada el 30 de abril de 1953 en la que se lee: «En cualquier caso sea cual fuere el precio del yeso y del cemento en Chandigarh, es mejor emplear las bóvedas catalanas en lugar de esas fenicias de las islas Baleares, ya que las cimbras son económicas y fácilmente desplazables [...] Con respecto a la construcción: la realización de los encofrados para las bóvedas fenicias es equivalente, en términos de tiempo, a la construcción de una bóveda catalana; por otra parte, la ejecución de una bóveda fenicia requiere el doble de tiempo que el necesario para una bóveda catalana; en otras palabras, el triple considerando los hombres empleados. Y también con respecto al tiempo de construcción, ya que para las bóvedas fenicias es preciso esperar 15 días para quitar los encofrados». Citado en *Le Corbusier y Barcelona*, 111.
24. Kenneth Frampton, *Historia crítica de la arquitectura moderna.*
25. Cuaderno de viaje P61, 1960.

La mecánica de las bóvedas tabicadas en su contexto histórico: la aportación de los Guastavino

Santiago Huerta

Las bóvedas tabicadas son bóvedas de fábrica, hechas con ladrillo y mortero. Su singularidad proviene de su construcción: los ladrillos se disponen de plano formando una o varias hojas (la primera, al menos, se recibe con yeso) y se ejecutan sin cimbra. Los ladrillos se van disponiendo cerrando arcos o anillos sucesivos. Mientras se cierran la sujeción de los ladrillos se consigue por la adhesión del mortero de fraguado rápido con los arcos o anillos previos ya terminados, o con los muros de borde. No hay cimbras pero sí se emplean «formas» (cerchas ligeras), camones o cintreles diversos para controlar la forma de la bóveda, en particular cuando ésta adquiere ciertas dimensiones o se desea una ejecución esmerada.

La técnica es en todo análoga a la construcción sin cimbra de bóvedas de rosca de ladrillo. En este último caso, cuando se emplea mortero de cal, de más lento fraguado, la adhesión se suplementa inclinando las juntas de los ladrillos. Las marcadas semejanzas en cuanto a los procesos de cierre de bóvedas no pueden ser casuales y parece muy probable que la técnica tabicada tenga su origen en la construcción sin cimbra de rosca de ladrillo.

Las bóvedas tabicadas se construyen con espesores muy pequeños. Lo normal es que sean de dos hojas (unos 10 cm en total, incluyendo la capa intermedia de mortero y los recubrimientos), pero también se encuentran de una hoja (unos 5 cm). Las esbelteces, relación entre el radio de curvatura y la luz, con frecuencia andan sobre 100, pero las hay muchos más esbeltas.

Hasta mediados del siglo XIX, las bóvedas tabicadas se han empleado para distintos tipos de elementos:

- para cubrir las naves de las iglesias. En este caso, sólo deben soportar su propio peso y la carga ocasional propia del mantenimiento. En general van protegidas por una techumbre superior de madera.
- para formar forjados
- para construir escaleras.

A partir de mediados del siglo XIX se empezaron a emplear en España y Francia para la construcción de cubiertas y suelos de edificios industriales, principalmente de fábricas textiles. El empleo del cemento Portland en el doblado permitió emplearlas como cubierta, sin necesidad de una techumbre superior o especiales precauciones (doble cámara, etc.). En la Cataluña de finales del siglo XIX y principios del XX se convirtieron casi en un símbolo nacional. Rafael Guastavino las exportó a América, a finales del siglo XIX, y, allí les confirió una dignidad que probablemente nunca habían tenido. Las «bóvedas de Guastavino» se construyeron en varios de los edificios más importantes de los años 1890–1900.[1]

La técnica de la construcción tabicada se conoce bastante bien y puede consultarse a este respecto la *Bibliografía seleccionada* que se incluye al final de este libro. No ocurre lo mismo en lo referente a su funcionamiento estructural. A partir del siglo XVIII han sido miradas con desconfianza y se ha aludido a su falta de seguridad y durabilidad. En particular, se ha considerado que las bóvedas tabicadas tienen un funcionamiento estructural esencialmente distinto al de las bóvedas de piedra o de rosca de ladrillo. Guastavino las encuadró dentro de las estructuras «cohesivas», en contraposición a las estructuras doveladas por «gravedad». Se las ha llegado a calificar de «imposibles de calcular», y por ello algunas han sido demolidas y sustituidas por otras estructuras más convencionales.

El objetivo principal de este artículo es devolver a las bóvedas tabicadas a su sitio: las bóvedas tabicadas son bóvedas de fábrica y, por tanto, esencialmente iguales a las bóvedas de piedra o rosca de ladrillo. Como ellas no resisten bien las tracciones, empujan y se agrie-

tan. No son monolíticas, ni cohesivas. Pueden y deben calcularse con las mismas herramientas que cualquier bóveda de fábrica. No son menos duraderas si reciben el necesario mantenimiento.

No obstante, sus peculiares características restringen su uso. Así, el hecho de ser más delgadas impone ciertas limitaciones en cuanto a la acción de sobrecargas accidentales. Por otra parte, su propia estructura laminar limita de hecho las deformaciones por apertura de grietas: la bóveda tiende a «deshojarse» y esto reduce su resistencia. Finalmente, cuando están hechas con mortero de yeso soportan mal el agua y deben estar protegidas por una techumbre de madera o por un buen recubrimiento de mortero de cemento.

Este artículo podría terminar aquí, pero como las ideas que se exponen contradicen las opiniones habituales dedicaré los siguientes apartados a justificar los asertos anteriores. La exposición seguirá un orden cronológico porque, en este caso, como en tantos otros, la historia permite explicar la situación actual de desconcierto y desconfianza hacia estas estructuras.

Antes de seguir conviene hacer una última precisión. El estudioso actual de las bóvedas de fábrica se enfrenta a una limitación seria: nunca ha proyectado, construido o visto construir una. La práctica de la construcción abovedada le es ajena por completo. Las estructuras que se enseñan en las universidades corresponden a otros tipos. No se mencionan las estructuras abovedadas, ni su forma de cálculo. Somos ignorantes, pues, tanto en la práctica como en la teoría. Por esto, reviste especial importancia leer a los antiguos maestros e interrogar de manera crítica a los propios edificios.

La tradición tabicada en España ss. XVI-XVIII. Fray Lorenzo de San Nicolás

Como se ha dicho, la desconfianza y determinadas ideas preconcebidas acompañan desde el siglo XVIII a las bóvedas tabicadas. Resulta interesante comprobar que esto no ha sido siempre así y que, de hecho, en los tratados y escritos anterirores que hablan de la construcción tabicada no se hace ninguna diferencia con las otras bóvedas de fábrica.

Los primeros documentos sobre este tipo de construcción son de los siglos XIV y XV. En el siglo XVI ya eran empleadas de forma habitual (Marías, 1991). Se valoraba su facilidad de ejecución, su resistencia y, sobre todo, su menor peso que permitía reducir considerablemente los muros y machones de contrarresto. Particularmente revelador resulta el siguiente texto, fechado en 1622, en el que Melchor Callejón maestro de arquitectura de Granada pondera las ventajas de las bóvedas tabicadas en relación con las de piedra a la hora de terminar una de las bóvedas del Palacio de Carlos V (Rosenthal, 1988):

> Sólo los arcos mayores fuesen de cantería y las lunetas de los entremedios a lo ligero y la tabla de la bóveda de tabiques doblados con ladrillos gruesos hechos a propósito, en la forma que los templos modernos se fabrican, que tienen fortaleza y poca costa, ... *y las paredes en que restriban trabajan menos*, por cuya causa las de este edificio se fundaron, no con la fortaleza que se requiere para ser todo de cantería, de que podría resultar vicio en la obra y aún riesgo, y mucha mayor costa.

Nótese la frase señalada en cursiva: las bóvedas tabicadas empujan menos que las corrientes, de modo que precisan estribos menores, pero empujan. Las dimensiones de los muros y estribos previstos para una bóveda tabicada son insuficientes para una bóveda de piedra, pero los estribos son necesarios.

El texto más relevante en cuanto a la construcción y mecánica de las bóvedas tabicadas es el tratado de arquitectura de Fray Lorenzo de San Nicolás (1639). Fray Lorenzo describe la construcción de los tipos fundamentales de bóveda (de cañón, arista, media naranja, rincón de claustro, etc.) en piedra, rosca de ladrillo y tabicada. No se hacen distinciones en cuanto a la mayor o menor bondad de un material u otro. Fray Lorenzo, al parecer, considera los tres procedimientos igualmente buenos constructivamente y deja al arquitecto la elección en cada caso. Además, resulta muy revelador que, independientemente del material, es preciso dotar la bóveda de un trasdosado de refuerzo que permita transmitir los empujes hacia los estribos. Así, indica la necesidad de macizar el trasdós en los arranques hasta el primer tercio de la altura de la bóveda y de disponer muros o tabiques de estribo, que llama «lengüetas», hasta alcanzar el segundo tercio. Fray Lorenzo es explícito en cuanto al papel estructural de estos dispositivos:

> ... y así como vayas tabicando, la iras doblando y macizando las embecaduras hasta el primer tercio, y esto ha de ser en todas las bobedas, echando sus lengüetas à trechos, que levantan el otro tercio, para que así reciban todo el empujo ò peso de la bobeda.

Los rellenos y lengüetas pueden servir para soportar un suelo horizontal pero, además, tienen una función estructural: permiten que la bóveda resista sobrecargas asimétricas o cargas móviles. Se disponen también en las bóvedas de cubierta.

Fray Lorenzo se ocupa asimismo del cálculo de los estribos. Da para ello una serie de reglas que se refieren al tipo más habitual en la época: iglesia de una nave con bóveda de cañón de medio punto y lunetos. Procede de forma sistemática, asignando las dimensiones en función del material de la bóveda y considerando dos tipos posibles de estribo: muro continuo o muro con contra-

material	muro de sección constante	muro +	contrafuertes
piedra	L/3	L/6	≥L/3
rosca de ladrillo	L/4	L/7	L/3
tabicada	L/5	L/8	L/4

Tabla 1. Estribos para bóvedas de cañón según Fray Lorenzo de San Nicolás (Huerta, 1990)

fuertes. La exposición es discursiva pero puede resumirse en la tabla 1.

Los antiguos constructores identificaban el empuje de la bóveda con el estribo necesario para resistirlo. La bóveda tabicada empuja menos que la de rosca de ladrillo o piedra, pero empuja, y requiere un sistema de contrarresto.

Finalmente, Fray Lorenzo trata en otro capítulo la construcción de escaleras de fábrica y, de nuevo, describe la construcción con piedra, rosca de ladrillo y tabicada. Se ocupa tanto del tipo más habitual de tramos «a montacaballo» como el de las escaleras de caracol. Es evidente que Fray Lorenzo está recogiendo en su tratado una tradición constructiva tabicada ya establecida. Él mismo dice haber construido numerosas bóvedas tabicadas en Madrid.

El tratado de Fray Lorenzo gozó de gran difusión en los siglos posteriores (al parecer era empleado por los constructores todavía a principios del siglo XX). No es extraño, se trata de un libro excepcional por la abundancia de temas tratados y por la claridad de su exposición. Sus reglas para los estribos se citan, por ejemplo, en los tratados de García Berruguilla (1747) y Plo y Camín (1767). Cuando Benito Bails (1796) habla «De las bóvedas tabicadas» en su Tratado de arquitectura civil empieza transcribiendo los párrafos correspondientes del tratado de Fray Lorenzo.

Por supuesto, Fray Lorenzo y el resto de los constructores educados en la construcción tabicada sabían que, una vez terminada la bóveda tabicada, la única diferencia en el comportamiento estructural en relación con las de rosca de ladrillo o de piedra era el menor empuje por la reducción en peso. Seguían haciendo falta estribos, aunque menores. El resto de las circunstancias eran idénticas. En particular, las bóvedas tabicadas también se agrietan y las patologías son idénticas a las de ladrillo o piedra.[2]

La tradición tabicada en Francia. El conde D'Espie y el mito del «monolitismo»

En Francia existió una tradición tabicada de influencia española en la región del Rosellón, que Bannister (1968) ha estudiado exhaustivamente. Hacia 1700 esta tradición constructiva pasó al Languedoc francés y, en particular, el duque de Belle Isle construyó una serie de bóvedas tabicadas en su castillo, empleando para ello albañiles de Perpignan. La construcción de estas bóvedas tan ligeras causó gran sensación en aquel momento y fueron discutidas en la Académie Royale dÁrchitecture tras una memoria presentada el 19 de junio de 1747 por un tal M. Tavenot (Lemmonier, 1920). La Académie no aprobaba esta nueva (para ellos) práctica constructiva, pero la memoria presentada por Tavenot es relativamente extensa y se incluyó información adicional en los apéndices. Entre los presentes se encontraba Blondel que luego contribuyó de manera decisiva a popularizar esta práctica al dedicarle un capítulo completo de su tratado.

En particular un noble ilustrado, ya retirado, el Conde d'Espie viajó para conocer estas bóvedas in situ. Le interesaba la posibilidad de construir forjados y cubiertas tabicados por su invulnerabilidad al fuego. Viajó estudiando edificios que contenían estas obras y, finalmente, construyó él mismo un edificio dotado de cubiertas incombustibles. Todas sus experiencias y opiniones las recogió en un librito, publicado en 1754, titulado *Manière de rendre toutes sortes d'édifices incombustibles, ou Traité sur la construction des voûtes, faites avec des briques et du plâtre, dites voûtes plates, et d'un toit de brique, sans charpente, appelé comble briqueté* (Manera de construir toda suerte de edificios incombustibles, o tratado de la construcción de bóvedas, hechas con ladrillo y yeso, llamadas bóvedas planas, y de un tejado de ladrillo, sin madera, llamado «comble briqueté»)[3]. El libro recibió una atención inusual y en pocos años se publicó traducido al inglés (1756), al alemán (1760) y al español (Sotomayor, 1776).

Espie dedica un capítulo a comparar las bóvedas tabicadas con las bóvedas ordinarias.[4] Empieza describiendo de forma cualitativa la forma en que empujan las bóvedas de fábrica. Así, indica que hay que considerar el espesor de la bóveda, su altura o flecha y la altura del estribo. Cita a Bélidor (1729) en relación con el cálculo de empujes y advierte de los peligros de basar los proyectos en una práctica que no se basa en la teoría. Inmediatamente observa que las citadas reglas no se aplican a las bóvedas tabicadas pues estas son de «una naturaleza

diferente». En particular observa que «él no es de los que creen que estas bóvedas empujan contra los muros».[5] (La observación es extremadamente interesante pues indica que las opiniones de Espie no eran compartidas por todos.) Después cita una serie de observaciones, unas realizadas por él personalmente, otras referidas por segundas personas. En un caso realiza una prueba de carga; en otro, corta la bóveda salvo las cuatro esquinas. Realiza agujeros en bóvedas construidas. También relata la experiencia de un conocido que construyó una pequeña bóveda sobre un marco de madera y, una vez fraguado el mortero, la hace rodar por una estancia y la golpea con un martillo. Resulta evidente que quien escribe no es un constructor familiarizado con la técnica tabicada. Finalmente, reconoce que ha habido hundimientos de bóvedas tabicadas pero los atribuye a la mala ejecución o a malos materiales.

En resumen Espie está convencido del monolitismo y la consiguiente ausencia de empuje de las bóvedas tabicadas. Por otro lado, el libro contiene una descripción minuciosa de la forma de construcción e insiste en el carácter incombustible de estas estructuras, en su ligereza y adaptabilidad.

La influencia del tratado de Espie

Las ideas y experiencias recogidas por Espie fueron aceptadas, en general, sin crítica por los autores posteriores. La ausencia de empuje y la invulnerabilidad al fuego eran argumentos poderosos que suscitaron un interés inmediato, no sólo en Francia sino también en el resto de Europa. El que hubiera traducciones al español, inglés y alemán en pocos años es un hecho inusual. Además, importantes tratadistas franceses y europeos se hicieron eco de este nuevo sistema constructivo, basándose en el libro de Espie y recogiendo sus ideas. Este el caso Laugier (1755) y de Rieger (1763), pero tuvo particular importancia que las bóvedas tabicadas recibieran un extenso tratamiento en el tratado de Blondel/Patte (1771–7), uno de los más influyentes de su época. En el tomo sexto se le dedica un capítulo completo, con una 40 páginas y 7 estupendas láminas que, sin duda, contribuyeron a difundir la construcción tabicada.

Dos decenios más tarde Rondelet (1802) resumió esta información en un apartado de su *Traité de l'art de bâtir,* dedicándole, además, una lámina completa. El tratado de Rondelet fue uno de los más influyentes del siglo XIX; se imprimieron numerosas ediciones y fue traducido al alemán e italiano. Así, pues, a principios del siglo XIX en Francia había una teoría de la construcción tabicada que se basaba, principalmente, en las opiniones de un noble ilustrado que quería «servir a la comunidad».

En resumen, algunas de las ideas más fantásticas (monolitismo, ausencia de empuje, etc.) sobre la construcción tabicada, que se difundieron con rapidez por toda Europa (incluso volviendo a España, lugar de origen de la práctica constructiva tabicada), tienen su origen en el tratado del conde de Espie. Estas ideas llegaron a formar el «marco de referencia» oficial para aproximarse a estas estructuras; su influencia, como veremos ha llegado hasta la actualidad.

La edición española de Sotomayor y la «Censura» de Ventura Rodríguez

El libro de Espie fue traducido al castellano por Joaquín de Sotomayor (1776). Sotomayor incorpora, entre corchetes, sus propias opiniones y experiencias. Resulta interesante que el libro vaya precedido de una «Censura de D. Ventura Rodríguez, Architecto mayor de Madrid». El comienzo marca el tono de la censura: «Lograría considerables ventajas el arte de edificar, si todas las ideas que nos proponemos asequibles tuvieran en la práctica el buen éxito que a la fantasía aparece». A continuación sigue una crítica acerba de las ideas fundamentales de Espie: el monolitismo y la consiguiente falta de empujes. Ventura Rodríguez cita varios casos de agrietamientos y desplomes en edificios construidos que demuestran el empuje de las bóvedas:

> Pero esta suposición [de ausencia de empujes], o creencia, es lisonjera no obstante las experiencias que cita, y no se verifica efectiva, como acreditan los evidentes ejemplos que tenemos en casi todos los Templos de Madrid, cuyas bóvedas son tabicadas de ladrillo y yeso, de curbatura más elevada, y con paredes mas gruesas, amparadas de estrivos, que a favor de la firmeza son grandes ventajas … y las vemos quebrantadas por muchas partes, y con desplomo en las paredes, ocasionado del empuje …

Insiste varias veces en la necesidad de dar contrarresto suficiente a las bóvedas sean tabicadas y recalca la importancia de la «firmeza», además de la «hermosura» y la «comodidad», pues si aquélla falta «todo es perdido». Ventura Rodríguez, pues, no comulga con las opiniones de Espie y Sotomayor, considerándolas incluso peligrosas.

Hay que resaltar que Sotomayor, como Espie, era un aficionado a la construcción, no un constructor. Ventura Rodríguez, un arquitecto de gran experiencia vio inmediatamente los errores de la teoría «monolítica», sin empujes, del conde de Espie.

Tratados españoles de la primera mitad del XIX: Bails y Fornés

En el siglo XIX hay dos tratados que se ocupan con cierta extensión de la construcción tabicada, los de Be-

nito Bails (1796) y Fornés y Gurrea (1841, 1846). Bails es fundamentalmente un compilador. En primer lugar transcribe los párrafos correspondientes de Fray Lorenzo de San Nicolás. Después, muestra su extrañeza por la animadversión y desconfianza que suscitan estas bóvedas:

> En vista de autoridad de tanto peso en estas materias [Fray Lorenzo] he extrañado mucho la oposición que en algunos facultativos he notado hacia estas bóvedas, asegurándome unos que acá no se podían hacer, desconfiando otros de que puedan servir si sobre ellas se hubiere de cargar algun peso, y empeñados los mas en que por lo mucho que empujan las paredes en que estriban, o no va segura la obra, o es indispensable gastar mucho hierro para su fortificación.

Nótese que uno de los inconvenientes aducidos es el de su empuje, quizá, como Ventura Rodríguez para desmentir las teorías de Espie. No obstante, como se ha señalado antes Fray Lorenzo considera que las bóvedas tabicadas empujan, aunque menos que las de piedra o rosca de ladrillo.

A continuación, Bails se limita a extractar, copiando párrafos enteros y reproduciendo las láminas, el capítulo correspondiente del tratado de Blondel/Patte, aunque sin citarlo en ningún momento.

Los tratados de Fornés son originales. En el primero publicado en 1841 y reeditado en 1857, expone la manera de construir bóvedas tabicadas con cierta extensión. Fornés expone con gran detalle la forma de construir los principales tipos de bóvedas tabicadas: de cañón (con y sin lunetos), de escaleras (a montacaballo y de caracol), cúpulas y pechinas, etc.

En cuanto a los empujes, Fornés considera que las bóvedas tabicadas empujan, aunque menos, debido a su menor espesor. No obstante, Fornés conoce las ideas de Espie (seguramente a través del tratado de Blondel/Patte) y empiezan a aparecer contradicciones. Así, en una primera parte del tratado afirma:

> Porque en las tabicadas ... son muchos los puntos a que debe atenderse. Después de ordenar el grueso de las paredes sobre las cuales han de apoyar las bóvedas con relación a su capacidad y mayor o menor montea, pues de esta dimana la demarcación de sus empujes, en que consiste su solidez y firmeza.

Las bóvedas tabicadas empujan en función de su peralte: es la teoría tradicional. Pero, más adelante, en un apartado titulado «Instrucciones sobre la elaboración de las bóvedas tabicadas», aparece ya la influencia de las ideas de Espie. Primero insiste en que «el mayor o menor empuje de las bóvedas pende de su mucha estensión, o de ser mas o menos rebajadas, y de su grueso, y que en las tabicadas este es apenas reparable», pero poco más adelante afirma: «. . .cubierta la obra y paredes enjutas, su fábrica se reduce a un cuerpo sólido, igual por ejemplo a una cobertera de puchero, sin mas empuje que el de su peso».

Los primeros ensayos científicos en Francia

Uno de los problemas de la historia de la construcción tabicada es que se ha realizado por zonas. Así, se conoce bien en Cataluña y Extremadura pero los estudios sobre el resto de España son casi inexistentes, a pesar de la abundancia de estas bóvedas a partir del siglo XVII. La construcción tabicada también es propia de Italia (bóvedas a la volterrana) y, como se ha visto, de Francia. Finalmente también hay bóvedas tabicadas en el norte de África (Argelia). Pero tampoco sobre estos lugares existe más que algunas contribuciones dispersas (véase la Bibliografía de este libro). Los avances en el conocimiento de esta construcción sólo se realizarán cuando el ámbito geográfico de estudio sea supranacional.

Así, aunque se considera que fue Guastavino el autor de los primeros ensayos de resistencia, con anterioridad se estaban realizando ya en Francia: D'Olivier (1837) y Fontaine (1865). De particular interés son los ensayos descritos por Fontaine pues se trata de ensayos de rotura a gran escala. Uno de los ensayos descritos es sobre tres bóvedas tabicadas de 4 m de luz (1/10 de flecha), entre perfiles en I de hierro forjado (de 47 cm de canto) con una luz de 6,25 m, cubriendo una superficie de 72 m^2. El ensayo se llevó hasta la rotura, produciéndose para una sobrecarga de 1.250 kg/m^2. En otro ensayo anterior sobre otra bóveda tabicada de un solo vano de 3,75 m (1/10) de flecha se alcanzó una sobrecarga de 2.700 kg/m^2, sin llegar a la rotura.

No aquí espacio para analizar los resultados de estos ensayos, pero hay que resaltar que ensayos de tal magnitud no se hacen de manera aislada y que es de esperar que se produjeran en el contexto de construir bóvedas incombustibles para edificios fabriles (de hecho la modulación en planta del ensayo de tres bóvedas coincide con la habitual para fábricas textiles).

Rafael Guastavino Moreno: la teoría de la «construcción cohesiva»

Rafael Guastavino Moreno fue el primero en intentar formular una teoría que explicase, de forma científica, el comportamiento estructural de las bóvedas tabicadas. Sus ideas fueron expuestas primero en una serie de conferencias en la Sociedad de Artes del Instituto Tecnológico de Massachusetts en 1889. Luego fueron publicadas en forma de artículos de revista en ese mismo año y

el siguiente, y, finalmente, fueron recogidas en su libro *Essay on The theory and history of cohesive construction, applied especially to The timbrel arch* (Ensayo sobre la teoría e historia de la construcción cohesiva, con particular atención a la bóveda tabicada) publicado en 1892.[6]

Con posterioridad Guastavino publicó algún artículo y dio algunas conferencias más (véase la Bibliografía de este libro); también publicó otro libro titulado *Prolegómenos sobre la función de la fábrica en las modernas construcciones*. Este último libro es clave para entender el pensamiento arquitectónico de Guastavino, pero no incluye ninguna novedad en cuanto a las ideas y cálculos sobre el comportamiento estructural de las bóvedas tabicadas.

La necesidad de una teoría

Rafael Guastavino sintió, seguramente desde el principio de su carrera, la necesidad de formular una teoría que permitiera entender el comportamiento de las construcciones tabicadas. Así, en el prólogo del *Essay* dice:

> No es posible explicar los procesos prácticos, o tener convicciones, sin algún fundamento racional. Estas razones forman la teoría científica que me vi obligado a elaborar para poder tener convicciones y, también, para poder tener alguna garantía de que mis obreros podrían trabajar con seguridad (*Essay*, 8)

También menciona en el prólogo las clases que recibió en la Escuela de Barcelona de sus maestros Juan Torras y Elías Rogent. Según dice, fueron ellos quienes le llamaron la atención sobre esta forma de construcción que, según afirma en varios lugares de su libro, había sido olvidada durante largo tiempo, aunque esta afirmación resulta dudosa.[7] No sabemos en qué pudieron consistir estas clases pero es probable que se trataran las ideas de monolitismo y continuidad del conde de Espie, recogidas como hemos visto en algunos tratados españoles (Sotomayor, Bails, Fornés).

En cualquier caso, Guastavino en su etapa barcelonesa se había convertido en el mejor constructor de bóvedas tabicadas del momento. En el *Essay* habla de sus comienzos como si hubiera empezado prácticamente de cero, como si la construcción tabicada estuviera completamente olvidada. Usó como banco de pruebas su primera obra importante, la enorme fábrica Batlló. Allí no sólo empleó las bóvedas tabicadas a una escala hasta entonces desconocida, también ensayó la construcción de hormigón. En éste último caso tuvo numerosos problemas por la mala calidad del cemento. Este hecho le marcó para el resto de su carrera profesional: nunca consideró que el hormigón tuviera ningún futuro como material de construcción.[8]

Concentrado, pues, en la construcción tabicada reflexionó sobre sus características tratando de formular una teoría general. Cuenta cómo aplicó este sistema en la construcción de una casa de pisos, su propia residencia:

> Realicé el primer experimento sobre mí mismo, de la misma forma que un médico prueba su propia medicina. Llevé a cabo mis ideas edificando una casa de cuatro plantas, sin emplear prácticamente vigas, todo construido de ladrillo y cemento. (*Essay*, 15)

A esta obra siguieron muchas otras, algunas con bóvedas de gran tamaño, como la cúpula rebajada de casi 20 m de luz del teatro de Vilasar. Pero Guastavino reconoce que la estructura de todas estas obras se proyectó de forma empírica:

> Pero todo este trabajo fue casi por completo empírico. No había una justificación técnica y, ¿cómo podría haberla tenido? El espesor de las bóvedas se calculó por intuición, de la misma forma que un buen herrero el tamaño de las piezas que usa o que un buen marinero elige el grosor de un cuerda.

Guastavino, en realidad, estaba aplicando las reglas y métodos tradicionales de proyecto de estructuras de fábrica, que había aprendido durante sus estudios y experiencia constructiva. Estas reglas, principalmente geométricas, codificaban la experiencia adquirida a lo largo de los años y son del tipo correcto para estructuras de fábrica.[9] Pero a finales del siglo XIX, con la teoría de estructuras ya bien desarrollada, era una exigencia ineludible justificar las dimensiones de los elementos de una estructura en base a cálculos basados en la teoría de estructuras y en la resistencia de materiales. Guastavino ya era consciente de este hecho en su etapa en Barcelona, pero a partir de su llegada a Nueva York se dio cuenta de la absoluta necesidad de elaborar una teoría de las bóvedas tabicadas, con una parte teórica y otra práctica, basada en los resultados de los ensayos. Por supuesto, la teoría de estructuras era la «teoría elástica» cuyos objetivos y métodos fueron formulados por Navier en 1826 y habían sido desarrollados durante el resto del siglo XIX para su aplicación, principalmente, al cálculo de estructuras claramente «elásticas» como eran las construidas en hierro y madera. Los arcos de fábrica empezaron a calcularse elásticamente a partir del decenio de 1870.[10]

El marco teórico de referencia: La teoría elástica

La teoría elástica dominaba el pensamiento estructural en la segunda mitad del XIX y es indudable que, aunque Guastavino no era un teórico de las estructuras, las ideas principales de la teoría elástica tuvieron que influir en

su pensamiento, mezclándose con otras ideas sobre la naturaleza de las estructuras tabicadas. Repasemos brevemente estas ideas.

La teoría elástica se aplica a estructuras hechas de un material elástico lineal (que obedece la ley de Hooke). El material se supone, además, continuo, homogéneo e isótropo. Las ecuaciones del material, juntos con las de compatibilidad y las de equilibrio, permiten hallar los esfuerzos internos en una estructura hiperestática. Conocidos estos esfuerzos, las fórmulas de la resistencia de materiales permiten calcular las tensiones que, finalmente, se comparan con las tensiones de rotura obtenidas en los ensayos. El objetivo final del análisis es, pues, para un cierto sistema de cargas, hallar la distribución elástica de tensiones en la estructura en equilibrio con dichas cargas que respeta las condiciones de compatibilidad (de contorno, etc.) estipuladas, localizar los puntos en que éstas se hacen máximas y comparar estas tensiones máximas con las de los ensayos de rotura. El requisito que se examina es el de «resistencia».

La teoría sobre la «construcción cohesiva»

Guastavino divide las construcciones de fábrica en dos grupos en función de su comportamiento mecánico:

> Se pueden considerar dos tipos generales de construcción: la «construcción mecánica», o construcción por gravedad, y la «construcción cohesiva», o por asimilación.
> La primera se basa en la resistencia de cualquier sólido a la acción de la gravedad cuando es contrarrestado por otro sólido. De este conjunto de fuerzas, más o menos opuestas entre sí, resulta el equilibrio de la masa total, sin tener en cuenta el poder cohesivo del material existente entre los sólidos.
> La segunda tiene por fundamento las propiedades de cohesión y asimilación de distintos materiales que, por una transformación más o menos rápida, imitan el proceso de formación de conglomerantes en la Naturaleza. (*Essay*, 44)

La construcción tabicada es cohesiva, pero no es el único tipo de construcción cohesiva. En la segunda parte de su *Ensayo* realiza una revisión histórica que resulta algo confusa. Así, la construcción romana de hormigón es, evidentemente, cohesiva, pero Guastavino también considera cohesivas la bizantina e islámica de ladrillo y menciona la Edad Media como «la época en que se desarrolló verdaderamente el sistema cohesivo» (*Essay*, 29). La lista de edificios citados incluye algunos de los edificios más notables de diferentes épocas y estilos: las termas de Caracalla, Santa Sofía, la catedral de Zamora, Santa Maria del Fiore y el Baptisterio en Florencia, San Pedro de Roma, Santa Genoveva de París, San Pablo de Londres,. . . y dos cúpulas tabicadas valencianas, la de la Basílica de los Desamparados y la de los Escolapios.

Aparentemente, cualquier edificio construido con un material que presente una buena adhesión con el mortero, ya sea hormigón romano, una fábrica de ladrillo o una bóveda tabicada, entra dentro de la construcción cohesiva. Así, tras la definición anterior, basada en el comportamiento estructural aporta otra que podríamos llamar constructiva:

> Podemos dar otra definición más precisa y extensa para ambos sistemas, estableciendo que el primer sistema, o mecánico, es aquel en el que todos los elementos pueden separarse uno a uno y después recomponerse de la misma forma o similar. A este tipo pertenecen las pirámides de Egipto y los templos griegos, etc. En la construcción cohesiva, por el contrario, no se pueden separar los componentes sin destruir la masa en su integridad. (*Essay*, 45)

Guastavino estaba fascinado por la posibilidad de construir edificios por «aglomeración» de pequeñas piezas, como la naturaleza hace al formar sus conglomerados y describe la fascinación que en este contexto le produjo su visita a la gran cueva del Monasterio de Piedra:

> Aquí, en este «Monasterio de Piedra,» pude ver una gruta inmensa,. . . cubierta por una enorme bóveda natural, soportada por muros de la misma naturaleza, con estalactitas de todas las formas y tamaños suspendidas del techo como grandes arañas... (*Essay*, 12)

Inmediatamente, le viene a la mente la relación entre esta forma natural de construcción y la construcción tabicada que él empleaba:

> Mientras contemplaba esta cascada de agua en esta inmensa estancia, me invadió el pensamiento de que todo este espacio colosal estaba delimitado por un único elemento constituido por una sólida masa de muros, cimientos y cubierta, y de que se había construido sin cimbras o andamios, y sobre todo, sin necesidad de elementos pesados de piedra, pesadas vigas o pesadas cimbras; un todo compuesto de partículas colocadas unas sobre las otras, tal como la naturaleza las había dispuesto. (*Essay*, 13)

El pasaje es clave a la hora de entender el pensamiento estructural de Guastavino. Esta idea de que la construcción cohesiva (y la construcción tabicada es cohesiva) es una construcción «natural» y, por tanto, «más racional, duradera y económica», le vino como una revelación y fue la fuerza motriz que le impulsó en su trabajo durante toda su vida. Como veremos, el carácter cohesivo no influye en el comportamiento esencial de las fábricas, pero los trabajos e investigaciones destinados a mejorar la cohesión se tradujeron en una perfección en la ejecución del sistema tabicado, como nunca antes se había conocido.[11] Por otra parte, la característi-

ca esencial de la construcción tabicada, la posibilidad de prescindir de cimbras, pasa a un segundo plano.

Los materiales: ladrillos y morteros

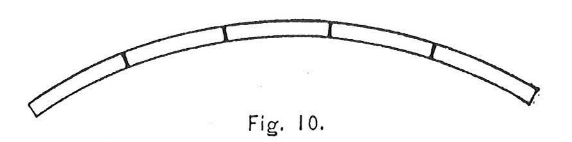
Uno de los mayores méritos de Guastavino es su insistencia en la buena calidad de los materiales. Para conseguir su ideal de una estructura perfectamente cohesiva, que formara como un monolito, donde no aparecieran grietas, que resistiera las inclemencias del tiempo, etc... era indispensable emplear los materiales más adecuados a su cometido constructivo y resistente, y cuidar la ejecución. Por ello, nada más llegar a Nueva York, dedicó sus esfuerzos a conocer las prácticas constructivas:

> No había transcurrido mucho tiempo desde mi llegada cuando me di cuenta de la necesidad de estudiar los métodos, materiales y recursos americanos. A este trabajo dediqué cinco años. Era absolutamente imprescindible que me informase bien, sobre todo, en relación con los arcos tabicados: primero, porque el cemento es el componente esencial; segundo, por la ejecución de los arcos, ya que un fallo en esta fase hará peligrar las vidas de los trabajadores; tercero, porque al utilizar los arcos, que permiten una construcción rápida, para construir forjados, era necesario también que éstos fueran liberados para el uso en poco tiempo; por lo tanto, necesitaba conocer exactamente con qué clase de material iba a trabajar y bajo qué condiciones.

Para construir bóvedas tabicadas hacen falta morteros y ladrillos adecuados, que garanticen la «cohesión» perfecta entre todos los elementos. Los ladrillos deben ser de buena calidad, de dimensiones adecuadas (unos 30 × 15 × 2,5 cm) y con una cierta porosidad que favorezca la adhesión del mortero. Éste debe ser de fraguado rápido y, sobre todo, hidráulico. El yeso, que fue usado tradicionalmente en la construcción tabicada, fragua con gran rapidez, pero Guastavino lo rechaza por su pérdida de resistencia al estar en contacto con el agua. Así, en sus inicios sólo la primera hoja se tomaba con yeso; el doblado y las siguientes hojas se recibían con mortero de cemento Portland. Guastavino da una enorme importancia a los morteros, seguramente por las desagradables experiencias que sufrió en sus inicios debido a la falta de uniformidad y calidad de las partidas de cemento.

Ventajas de las bóvedas tabicadas «cohesivas»

Guastavino dedica un apartado a explicar las diferencias entre la construcción por gravedad y la cohesiva en relación con las bóvedas tabicadas, con el fin poner de manifiesto las ventajas esta última (*Essay*, 49-57). Compara un arco tabicado de una hoja con otro arco tabicado de dos hojas, Figura 1.



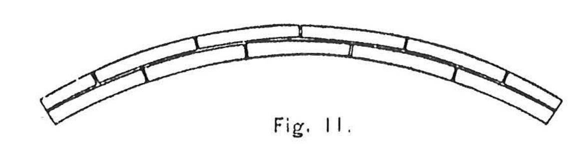


Figura 1.
Comparación entre un arco mecánico y otro cohesivo (Guastavino, *Essay*, 1893)

En el arco de una hoja hay juntas entre los ladrillos que, dice, por tanto funcionan como dovelas: se trata de un arco por gravedad tradicional. El doblado, con la capa de mortero entre las dos hojas y disponiendo siempre los ladrillos a juntas encontradas, hace que el arco funcione como una estructura cohesiva, capaz de resistir momentos flectores. La evidencia de este aserto es que es posible construir bóvedas de cañón de 6 m de luz y sólo 7,5 cm de espesor empleando sólo una forma desplazable; al cabo de unas horas los obreros pueden caminar sobre la bóveda sin ningún peligro; finalmente, la forma puede correrse sin dificultad bajo la bóveda construida prueba de que ésta no se ha deformado. No es casualidad que el propio Guastavino se fotografiara de pie sobre uno de los arcos tabicados de la Biblioteca de Boston.

Otra de las ventajas estructurales que Guastavino atribuye a las bóvedas y arcos tabicados es la disminución del número de juntas. De hecho si fuera posible construir sin juntas esto sería idóneo: «Es evidente que si fuéramos capaces de construir un arco sin juntas, sería lo mejor, ya que no sufriría asientos» (*Essay*, 52). Otra vez aparece el mito del monolitismo. Por supuesto los arcos y bóvedas de fábrica se agrietan, puesto que los asientos proceden no del arco sino de cambios, muchas inevitables, de las condiciones de contorno.[12]

Guastavino dedica algunos párrafos al problema del agrietamiento de un arco escarzano rebajado, Figura 2. Si el arco es de dovelas, con juntas, entonces se forma una grieta en la clave y ésta baja (de hecho, como es sabido hacen falta otras dos grietas para que el mecanismo sea compatible; pero Guastavino no las cita). Este movimiento pondría en peligro el arco y, además, perjudica el proceso de fraguado del mortero.

El arco tabicado inferior podría evitar la aparición de la grieta, puesto que es capaz de resistir flexiones por la

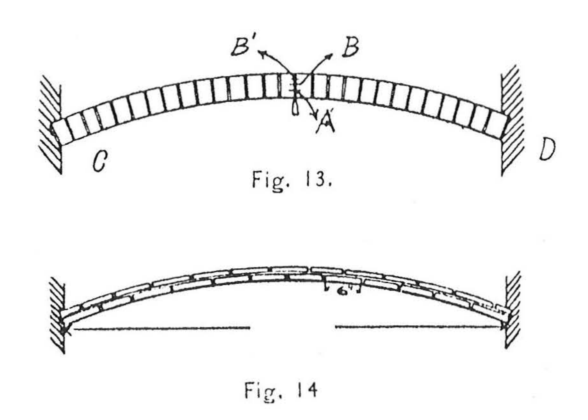


Figura 2.
Agrietamientos en arcos escarzanos: comparación entre un arco de dovelas y un arco tabicado (Guastavino, *Essay*, 1893)

capacidad de resistir tracciones que aporta el matado de las juntas. Además, dado que hay menos juntas el arco tabicado funciona mejor: «Puesto que sabemos que el arco sin juntas es el mejor, será preferible el arco que tenga menos juntas» (*Essay*, 53). Así. Guastavino resume las ventajas de los arcos y bóvedas tabicados en relación con lo arcos mecánicos:

1) Las juntas verticales quedan protegidas contra el agrietamiento por el doblado a juntas encontradas;
2) Hay un menor número de juntas verticales;
3) Capacidad de resistir momentos flectores.

Por supuesto, los arcos de hormigón en masa son arcos cohesivos y presentan estas propiedades en su grado más alto por la ausencia de juntas, pero Guastavino los descarta por el coste excesivo de las cimbras y por los problemas que podría plantear un fraguado irregular (alude a sus ya citados problemas con el hormigón en la construcción de la cimentación de la fábrica Batlló).

Ensayos de resistencia

Guastavino era muy consciente del problema que supondría convencer a los arquitectos americanos de las bondades del sistema tabicado de construcción. Incluso en España, donde la práctica se remontaba a varios siglos atrás, estas estructuras eran vistas por muchos con desconfianza. Las especulaciones teóricas e históricas eran necesarias pero había, sobre todo, que realizar ensayos científicos.

Aunque, como se ha visto, se realizaron ensayos con anterioridad en Francia, Guastavino realizó, a partir de 1887, los primeros ensayos sistemáticos, tanto sobre probetas como sobre estructuras (bóvedas de cañón tabicadas). También realizó ensayos de incendios, para demostrar la invulnerabilidad al fuego del sistema tabicado.

En los ensayos sobre probetas trató de obtener unos valores de las tensiones de rotura a compresión, tracción, cortante y flexión, Figura 3, que le permitieran verificar la seguridad de sus bóvedas por comparación de las tensiones de trabajo. Se trata, pues, del enfoque de resistencia de Navier. Los resultados de los ensayos se resumen en la Tabla 2. Es interesante que no se cite ningún intento de determinar las constantes elásticas, el módulo de Young, el módulo de deformación transversal o el coeficiente de Poisson.

Resistencia	N/mm^2
compresión	14,6
tracción	2,0
cortante	0,9

Tabla 2. Tensiones de rotura obtenidas en ensayos de laboratorio (Guastavino, *Essay*, 1893)

Para contrastar estos resultados con estructuras reales, realizó ensayos de rotura sobre bóvedas tabicadas escarzanas, con una flecha de 1/10 de la luz y . En la Figura 4 se muestra la foto de uno de estos ensayos. Desde luego, el resultado es espectacular; la foto dice más en favor de la resistencia de las bóvedas tabicadas que cualquier teoría o conjunto de ensayos de laboratorio. En este caso, es evidente que los ensayos tenían una parte propagandística, que, por otra parte no era inusual a finales del siglo XIX.[13]

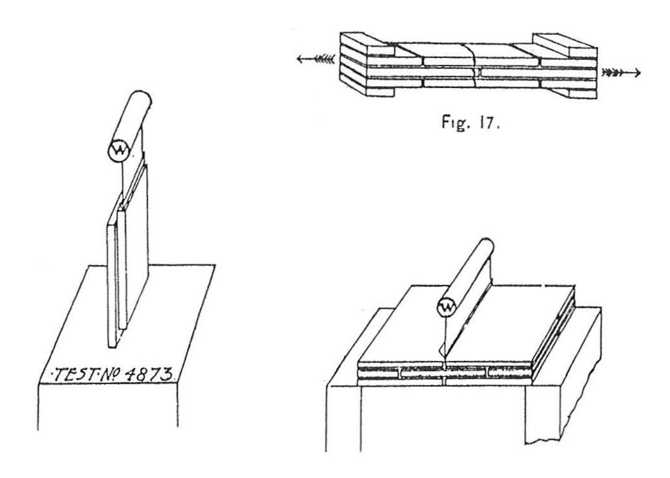


Figura 3.
Ensayos de resistencia realizados por encargo de Guastavino: a) tracción; b) flexión; c) cortadura (Guastavino, *Essay*, 1893)



Figura 4.
Ensayo de resistencia sobre una bóveda de cañón tabicada Archivo Guastavino, Avery Library)

Cálculo del empuje y las tensiones en bóvedas de cañón y cúpulas tabicadas

Prácticamente las única información sobre los métodos de cálculo empleados por Guastavino se encuentra en el *Essay*. Los métodos gráficos parece que deben atribuirse a su hijo Guastavino Expósito y se tratarán más adelante. Guastavino trata dos temas típicos: la bóveda de cañón rebajada y la cúpula semiesférica, también rebajada.

Para un arco o bóveda escarzano da la siguiente fórmula (he modernizado la notación):

$$A\sigma_{rot} = \frac{Wl}{8f} \qquad (1)$$

donde:

A = área por unidad de longitud transversal a la bóveda en la clave

σ_{rot} = tensión de rotura a compresión

W = carga total (peso propio más relleno y sobrecarga) que actúa sobre la bóveda por unidad de longitud transversal

l = luz de la bóveda

f = flecha de la bóveda

La fórmula relaciona (para un arco de luz l y flecha f dados) la carga W, con el área A (esto es el espesor) y la tensión de rotura σ_{rot}.

Se trata de la conocida expresión del empuje de un arco parabólico sometido a una carga uniformemente repartida, aunque la «demostración» de Guastavino es difícil de comprender. La fórmula es, por supuesto, aproximada (la carga real no es exactamente uniforme), pero para bóvedas rebajadas es suficientemente buena. Guastavino da un ejemplo de aplicación: calcular el espesor de un bóveda de $l = 4{,}575$ m; $f = l/10$; que ha de soportar una carga uniformemente repartida de 12 kN/m^2 con un material que tiene una tensión de rotura 14,6 N/mm^2. Guastavino considera que la tensión de trabajo admisible es 1/10 de la tensión de rotura. Entrando en la fórmula con la tensión admisible de 1,46 N/mm^2 se obtiene un espesor de 4,7 cm, esto es dos hojas de ladrillos o rasillas de una pulgada (2,54 cm) de espesor. Por supuesto, considerar 10 como coeficiente de seguridad es, quizá, excesivo incluso para un material irregular como la fábrica tabicada y más adelante (*Essay*, 64) Guastavino reconoce que se podría considerar como tensión de trabajo 1/4 ó 1/5 de la tensión de rotura.[14] De hecho, en las fábricas, también en las tabicadas, el criterio que decide el proyecto de la estructura no es de resistencia sino de estabilidad y la seguridad se obtiene dando un espesor suficiente. Puede ser que la oscilación entre 10 y 4 del coeficiente de seguridad le permitía a Guastavino obtener el espesor que le parecía adecuado en cada momento.

La fórmula le permite hallar el espesor en la clave. El esfuerzo será mayor en los arranques y para hallar el nuevo espesor aplica la que denomina «fórmula de Dejardin»; el espesor varía a partir de la clave en función del inverso del coseno del ángulo que fija la posición del punto.[15]

El cálculo de Guastavino es, evidentemente, un cálculo de equilibrio por el que obtiene un valor del empuje, para luego hacer comprobaciones de resistencia (normalmente innecesarias) y para calcular el sistema de contrarresto, ya sea mediante estribos de fábrica o, con mayor frecuencia, mediante algún sistema de tirantes de hierro forjado.

No obstante, a finales del siglo XIX el cálculo elástico era considerado como la mejor opción para analizar arcos de fábrica y el enfoque de equilibrio, aunque se empleaba en la práctica, era mirado con suspicacia por los ingenieros. Guastavino con toda probabilidad no tenía la formación suficiente para realizar un cálculo elástico que, incluso, en los casos más sencillos conduce a complicadas integrales. Por este motivo encargó a un profesor de mecánica aplicada del MIT, G. Lanza, el cálculo de una tabla para el cálculo (elástico) de las tensiones en arcos tabicados, con flecha de 1/10 de la luz, teniendo en cuenta el esfuerzo normal y el momento flector, Figura 5. La tabla se incluye, sin explicación sobre las hipótesis de cálculo, al final del libro. Otro paso más a la hora de dar respetabilidad científica al cálculo de bóvedas tabicadas. Comparando los resultados de la aplicación de su fórmula con la tabla no se aprecian, como es lógico para arcos rebajados, diferencias significativas.

Trata a continuación las cúpulas, que considera la forma por excelencia: «La cúpula es la forma genuina de la construcción cohesiva para techos, forjados y cu-

TABLE OF THEORETICAL STRESSES FOR ARCHES 10% RISE WITH UNIFORM LOAD (W) PER SQ. FT.

Span in Feet.	Rise in Inches.	Thickness in Inches.	Area of Sec., 12 in. wide.	I of Section, 12 inches wide.	Bending-moment at crown. Inch pounds = W ×	Stress due to bending moment = W ×	Thrust at crown = W ×	Stress due to thrust at crown = W ×	Thrust at springing = W ×	Stress due to thrust at springing = W ×	Maximum stress at crown = W ×
5	6	2	24	8	.540	.0675	6.16	.25667	6.673	.278	.32417
5	6	3	36	27	.540	.03	6.16	.17111	6.673	.18536	.20111
6	7.2	3	36	27	.7776	.0432	7.392	.20533	8.008	.2227	.24853
7	8.4	3	36	27	1.0854	.0588	8.624	.23956	9.3125	.2595	.29836
8	9.6	3	36	27	1.3824	.0768	9.856	.27378	10.677	.2966	.34458
9	10.8	3	36	27	1.7496	.09719	11.088	.30800	12.013	.3372	.40518
10	12.0	3	36	27	2.16	.12	12.320	.34222	13.346	.3707	.46222
11	13.2	3	36	27	2.6136	.1452	13 552	.37644	14.598	.4055	.52164
12	14.4	3	36	27	3.1104	.1728	14.784	.41067	16.016	.4449	.58347
12	1.44	4	48	64	3.1104	.0972	14.784	.308	16.016	.3337	.4052
13	1.56	4	48	64	3.6504	.1140	16.016	.33367	17.351	.3615	.44767
14	16.8	4	48	64	4.2336	.1323	17.248	.35933	18.685	.3768	.49163
15	18.0	4	48	64	4.860	.15187	18.480	.38500	20.02	.4171	.53687
16	19.2	4	48	64	5.5296	.1728	19.712	.41067	21.355	.4449	.58347
16	19.2	5	60	125	5.5296	.1106	19.712	.32853	21.355	.3559	.43913
17	20.4	5	60	125	6.424	.1285	20.944	.34907	22.689	.3781	.47757
18	21.6	5	60	125	6.9884	.13977	22.170	.36960	24.024	.4004	.50937
19	22.8	5	60	125	7.7976	.15595	23.408	.39013	25.359	.4225	.54608
20	24.0	5	60	125	8.64	.1728	24.64	.41067	26.693	.4449	.58347
20	24.0	6	72	216	8.64	.12	24.64	.34222	26.693	.3707	.46222
21	25.2	6	72	216	9.5256	.1323	25.872	.35933	28.028	.3893	.49163
22	26.4	6	72	216	10.4544	.1452	27.104	.37644	29.363	.4079	.52164
23	27.6	6	72	216	11.4264	.1587	28.336	.39355	30.697	.4263	.55225
24	28.8	6	72	216	12.4416	.1728	29.568	.41067	32.932	.4449	.58347

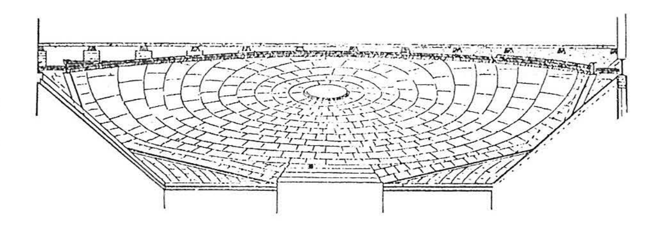
To obtain bending-moments, stresses, and thrusts in the last seven columns, multiply the figures in column by load per square foot, including the weight of material.

Figura 5.
Tablas elaboradas por G. Lanza para el cálculo elástico de las tensiones en las bóvedas de cañón tabicadas (Guastavino, *Essay*, 1893)

sus clases de Barcelona.[16] Si en el caso de los arcos rebajados la fórmula (1) daba una buena aproximación del empuje, en este caso puede haber desviaciones notables, como él mismo reconoce.[17]

Por otra parte, tras calcular el empuje de la forma indicada, sin considerar flexiones, incurre en una contradicción al afirmar: «Consideramos nuestro arco no como un arco de dovelas, sino como un arco simple de fundición que trabaja como una pieza maciza arqueada de piedra o hierro» (*Essay*, 69) y, más adelante, «Tampoco estamos considerando aquí una cúpula de dovelas, sino una simple cúpula de fundición que trabaja como una pieza única» (*Essay*, 72). A continuación dedica unos párrafos a explicar por qué el empuje de un arco tabicado existe pero es menor que el de un arco de dovelas y, siguiendo el razonamiento aplicado a las cúpulas observa que las cúpulas cohesivas, que resisten tracción, construyen sus propios anillos y en consecuencia la cúpula apenas empuja. Y sin embargo, en cualquier sección constructiva de una cúpula de Guastavino puede observarse un zuncho metálico y en los archivos se encuentran numerosos planos de tales zunchos, Figura 6.

El tratado contiene más observaciones sobre el funcionamiento estructural de las bóvedas tabicadas. Por biertas, así como de la construcción tabicada» (*Essay*, 66). Para calcular su empuje Guastavino acude a otra aproximación; razonando (erróneamente) de forma geométrica al comparar las áreas de una esfera y un semicilindro de la misma directriz, desarrollados en planta. En efecto cortando el cilindro como se indica en la figura y juntando las lunas rayadas se podría formar un cúpula poligonal de forma muy aproximada a una esfera y, viendo la planta, Guastavino considera que el peso de la cúpula es la mitad que el de la correspondiente bóveda de cañón y que, por tanto, el empuje será la mitad. De hecho, el peso es diferente y también cambia la posición de los centros de gravedad, pero el considerar el empuje de la cúpula mitad que el de la bóveda de cañón de la misma directriz, va a favor de seguridad, puesto que es normalmente menor (para una cúpula semiesférica está cerca del tercio). La idea proviene de Frézier, se difundió después en algunos manuales de arquitectura y construcción, y Guastavino pudo haberla aprendido en



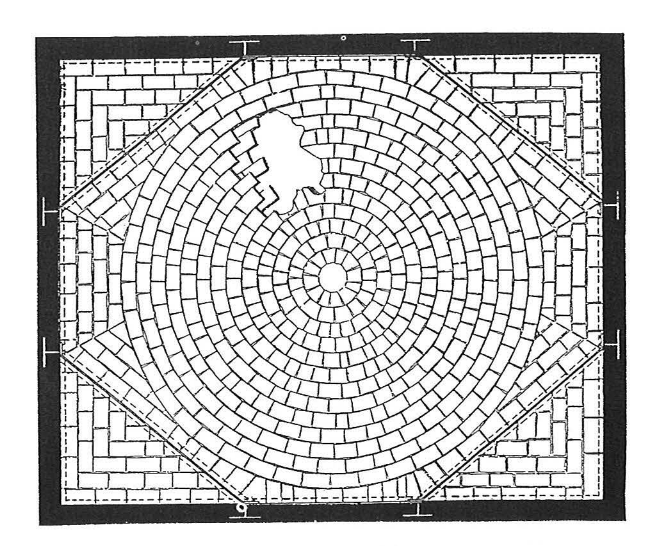


Figura 6.
Cúpula rebajada para forjado de piso. Nótese el zuncho metálico poligonal que absorbe los empujes (Guastavino, *Essay*, 1893)

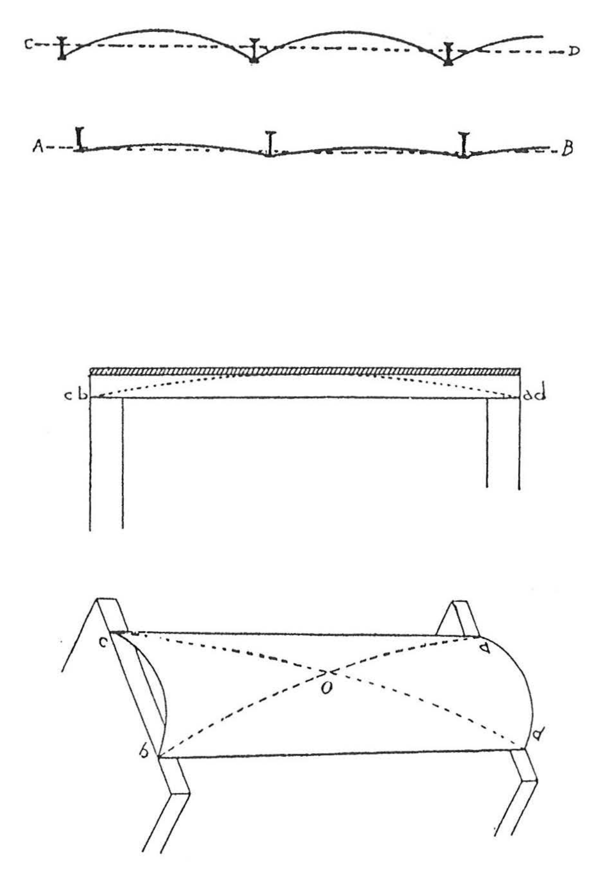


Figura 7.
Estudio del incremento de resistencia en unforjado de vigas metálicas y bóvedas tabicadas (Guastavino, *Essay*, 1893)

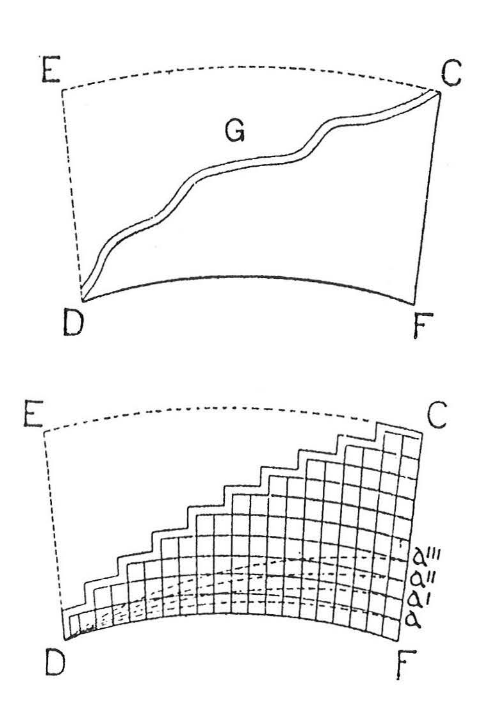


Figura 8.
Mecanismo resistente de una bóveda tabicada de cañón agrietada (Guastavino, *Essay*, 1893)

ejemplo, estudia el incremento de resistencia que se obtiene en unforjado de vigas metálicas y bóvedas tabicadas debido a la formación de arcos de descarga diagonales, Figura 7, discute la posibilidad de resistir de una bóveda tabicada de cañón agrietada, por el mismo mecanismo, Figura 8, o, analiza la necesidad de los tabiques transversales para resistir cargas puntuales, Figura 9.

Pero el texto está lleno de incoherencias fruto de querer aplicar su teoría cohesiva. Así, tras haber deslumbrado al lector por una observación penetrante sobre un aspecto del comportamiento estructural de algún elemento, incurre de nuevo en contradicciones o hace afirmaciones dudosas.

La teoría y la práctica

Tras este examen de la teoría de bóvedas de Guastavino, muchas veces incorrecta y con numerosas contradicciones se podría pensar cómo es posible que fuera, con su hijo, uno de los más grandes constructores de bóvedas y cúpulas de fábrica. La enorme variedad de soluciones

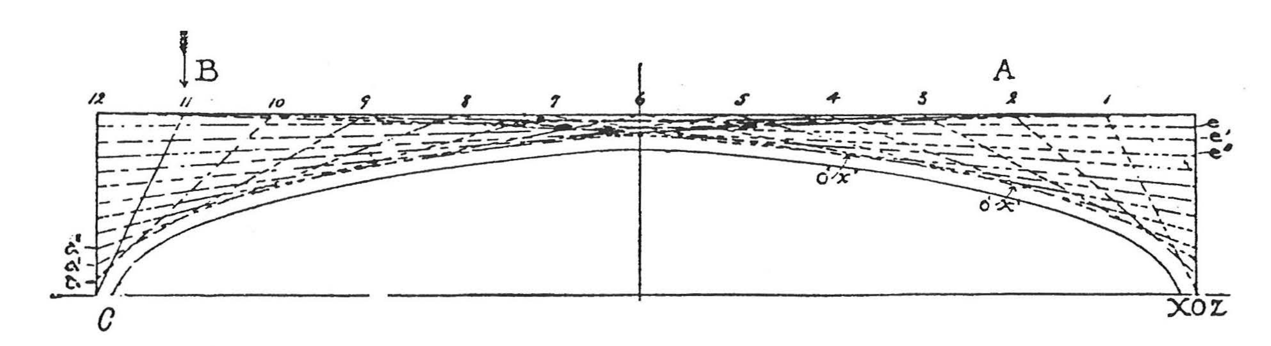


Figura 9.
Necesidad de tabiques transversales para resistir cargas puntuales (Guastavino, *Essay*, 1893)

constructivas, el ingenio y la maestría que demuestran, la audacia de proyectar cúpulas con formas sin precedente, todo ello contrasta con el carácter, ciertamente algo tosco, de la teoría. ¿Cómo es esto posible?

En mi opinión la razón es la siguiente. Por un lado Guastavino trata de pensar dentro del marco de referencia del monolitismo, la cohesividad, la resistencia a tracción y flexión: es el marco que le ha sido dado en la época en que vivió, la segunda mitad del XIX, la época del desarrollo de la teoría de la elasticidad, dentro de la que se incorporan con comodidad los conceptos anteriores de Espie (cámbiese monolitismo por continuidad, homogeneidad, isotropismo).

Por otro lado Guastavino es un gran constructor y arquitecto de bóvedas. Posee la intuición que nace del conocimiento de que el problema crucial en el proyecto de las fábricas no es la resistencia sino la geometría. Es la antigua tradición del cálculo de estructuras. Hay una contradicción evidente entre ambas matrices de pensamiento y la «esquizofrenia» consiguiente se manifiesta en la expresión verbal pero no en la obra construida que es la mejor prueba de la maestría práctica y teórica de Guastavino.

Realmente, para proyectar una cúpula de fábrica no hace falta saber muchas cosas: hay que poder calcular aproximadamente los empujes (para esto bastan las fórmulas anteriores) para poder dimensionar los contrarrestos, tirantes o anillos; y hay que identificar el punto de aparición de las tracciones para disponer tabiques, rellenos, etc., que permitan el «escape» de los esfuerzos fuera de la cáscara tabicada o, en el caso de las cúpulas, anillos que permitan anular o variar la dirección de los esfuerzos. Todo lo anterior está relacionado estrechamente con la forma geométrica de las bóvedas y el propio Guastavino afirma: «el empuje depende de la forma y no del material».

Rafael Guastavino Expósito

Rafael Guastavino Expósito trabajó con su padre en la empresa desde los quince años de edad. Recibió, pues, una formación «medieval» viviendo y trabajando con su padre como los aprendices medievales lo hacían con su maestro. Simultaneó esta tarea con estudios sobre arte, arquitectura y estructuras que realizó de manera autodidacta. En base a la documentación existente pueden atribuírsele tres innovaciones en cuanto al proyecto de cáscaras delgadas de fábrica:

- fue el primero en aplicar de forma sistemática la teoría de la membrana a la hora de calcular los esfuerzos internos en bóvedas tabicadas, en particular en las cúpulas;
- ideó un sistema de proyecto de la directriz de las cúpulas para evitar la aparición de tracciones basado en la teoría de la membrana;
- realizó, al parecer, una de las primeras patentes de cerámica armada (con casi cincuenta años de antelación a Dieste), y aplicó esta técnica cuando lo consideró necesario.

Guastavino Expósito no realizó ninguna publicación, aunque sí dio varias conferencias.[18] De hecho, le tocó vivir la decadencia del modo de construcción de fábrica, que había aprendido y practicado desde niño. Para mantener la empresa, debió investigar con las posibilidades cromáticas de los ladrillos y, sobre todo, realizó una investigación pionera sobre materiales acústicos colaborando con el mejor especialista de la época W. C. Sabine. En los años 1930, con el auge de la construcción de cáscaras delgadas de hormigón intentó competir con éstas, y en el Archivo Gustavino de la Avery Library se conservan documentos y recortes que atestiguan un interés activo. Finalmente, construyó una cúpula tabicada para un planetario (el Planetario Buhl en 1938) aunque desde Dischinger se venían construyendo de hormigón armado. Pero ya no era la época de la construcción de fábrica y la empresa vivió sus últimos años de los materiales acústicos y de construir bóvedas para los últimos edificios historicistas, cuya construcción se prolongó en América hasta los años 1960.

Análisis de membrana

El análisis de membrana (esto es buscar una solución de equilibrio con los esfuerzos contenidos dentro de la superficie media de la cáscara) de cáscaras de fábrica fue propuesto por primera vez por Rankine (1858) que dio la solución analítica para cúpulas de revolución. Schwedler (1866) desarrolló un método analítico para cúpulas de barras que puede extrapolarse a cáscaras. El primer método gráfico fue propuesto por Eddy (1878), Figura 10.

La idea es sencilla: dividida la cáscara en anillos horizontales se calculan sus pesos y se dibujan las fuerzas correspondientes, en orden, sobre una línea vertical. Se trazan rectas horizontales por el extremo de cada una de las fuerzas. Finalmente, por el extremo superior de la recta de fuerzas se trazan paralelas a las tangentes a los extremos inferiores de cada uno de los anillos. Cada triángulo representa el equilibrio de fuerzas de un anillo. La recta inclinada representa la integral de todas las N_φ a lo largo del corte; para obtener su valor basta con dividir su magnitud (medida sobre el dibujo en escala de fuerzas) por la circunferencia de corte. La recta horizontal representa la integral de los empujes horizontales en cada corte. Las diferencias entre estas fuerzas horizontales tienen que ser compensa-

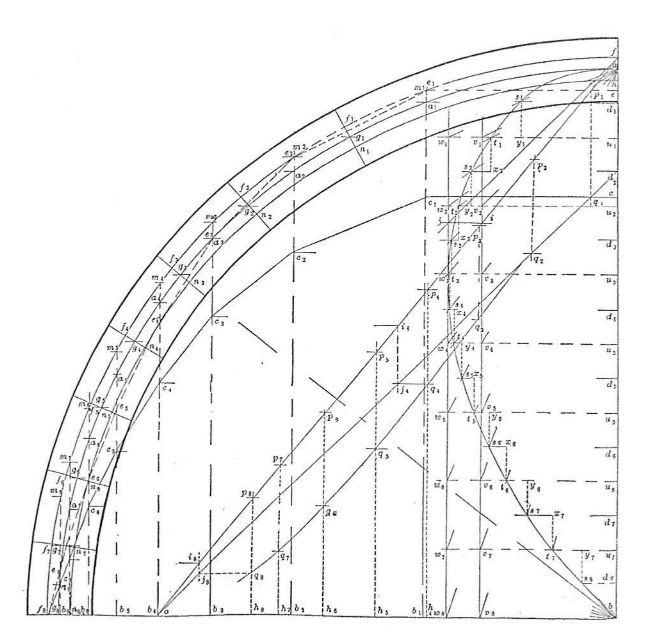


Figura 10.
Análisis gráfico de membrana de una cúpula (Eddy, 1878)

das por las N_θ y es posible calcularlas en base a una fórmula algebraica.

Eddy observa que, a partir de una cierta altura (unos 52° a partir de la clave para una cáscara semiesférica) las N_θ se vuelven de tracción. El método permite calcularlas, pero Eddy advierte que, en el caso de una cáscara de fábrica el material no resistiría las tracciones y la superficie de empujes no tiene más remedio que separarse de la superficie media, manteniéndose constante, a partir de este momento, el empuje horizontal. El método de Eddy fue recogido por Föppl (1881), sin citarle, y más tarde por Dunn (1904), Figura 11.[19] Este último publica más tarde, en 1908, un artículo sobre construcción de cúpulas que tuvo gran difusión, donde, además se comentan las obras de los Guastavino.

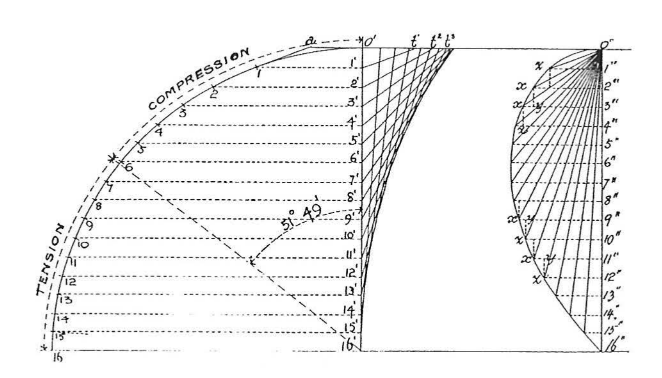
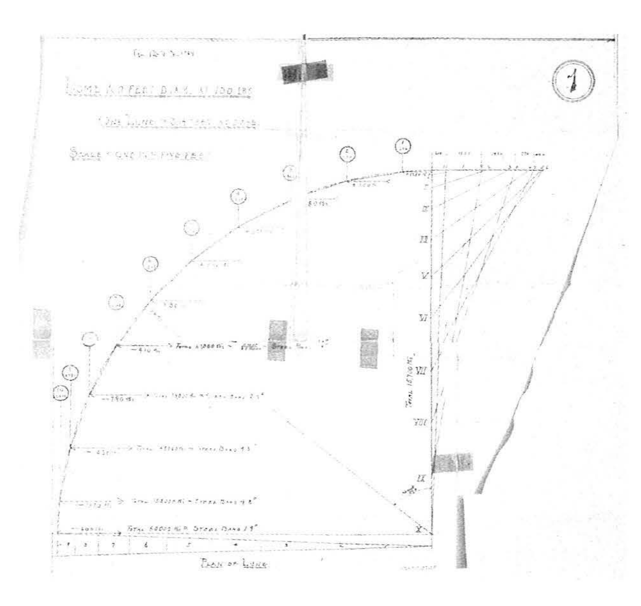


Figura 11.
Diagramas de Dunn, basados en el método de Eddy (Dunn, 1904)



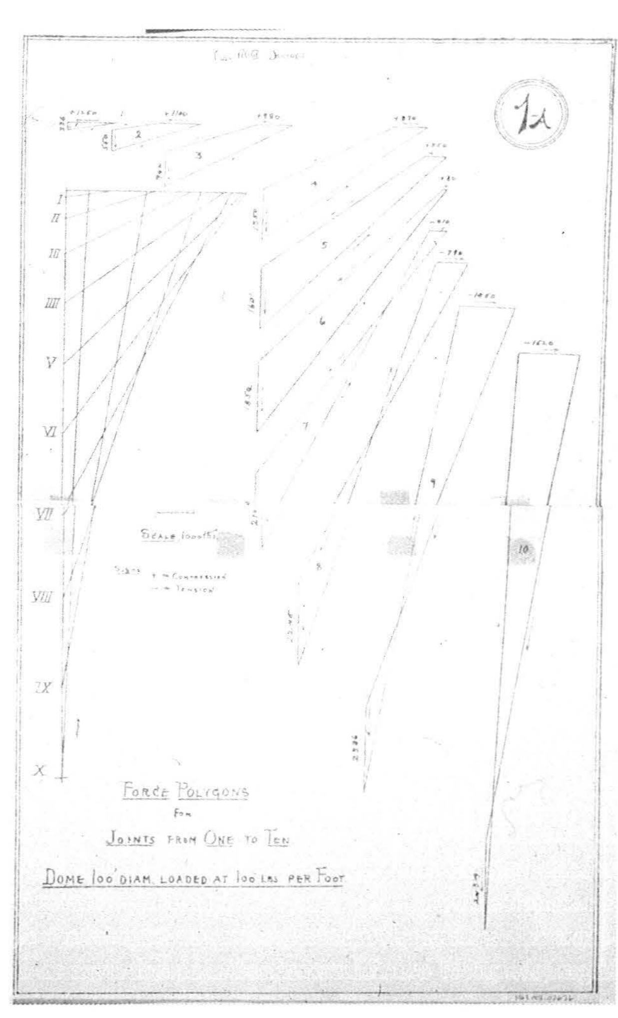


Figura 12.
Aplicación del método de Eddy a una cúpula de 100 m de diámetro. (Archivo Guastavino. Avery Library)

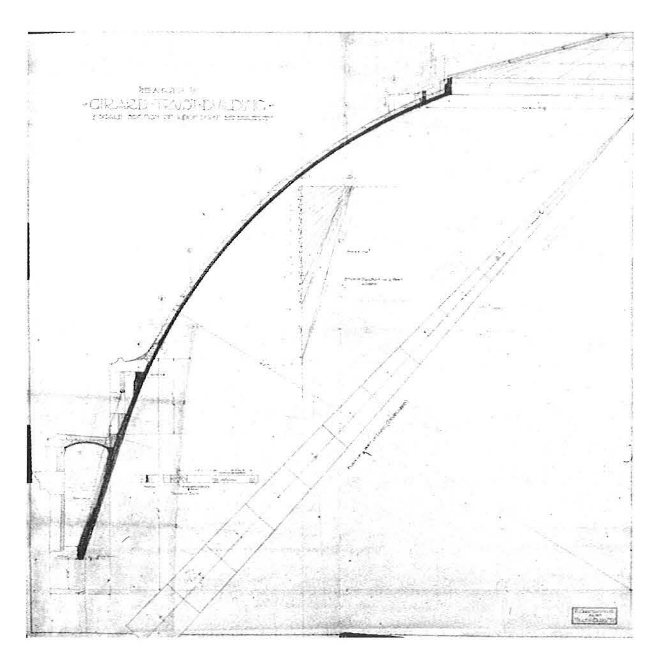


Figura 13.
Cálculo de la forma de equilibrio sin tracciones de una cúpula. Girard Trust Company, 1905-1907. (Archivo Guastavino. Avery Library)

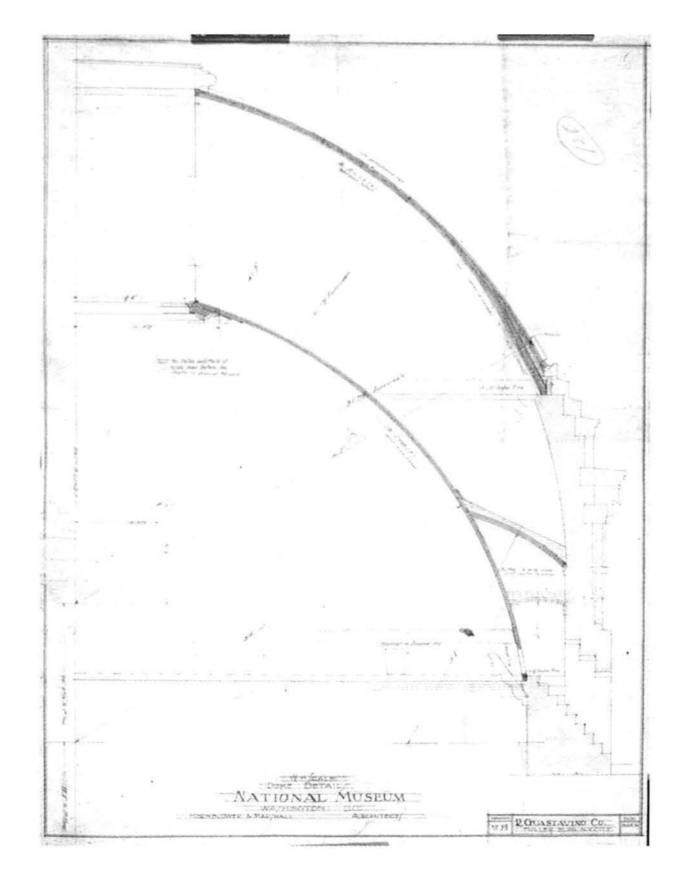


Figura 14.
Doble cúpula, para el National Museum de Washington, mostrando el estudio de la geometría y la colocación de zunchos y bóvedas y pesos de contrarresto.(Archivo Guastavino. Avery Library)

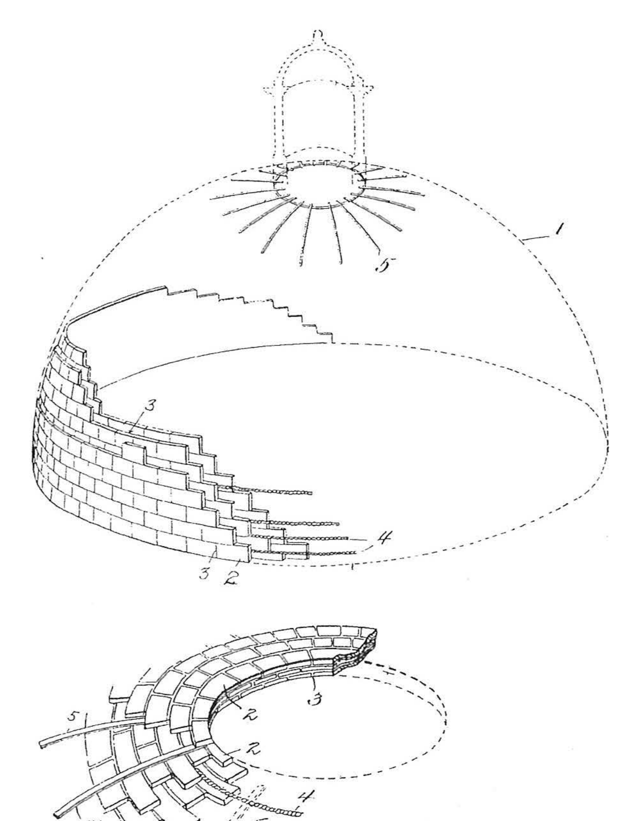


Figura 15.
Disposición de armaduras metálicas en cúpulas metálicas (Patente Guastavino, 1910)

La observación de Eddy, recogida por Dunn, de que a partir del punto de aparición de las tracciones el empuje se mantenía constante, suministró la idea para un método de proyecto de cúpulas sin tracciones. La parte superior era un casquete esférico y, a partir, del citado punto el diagrama de fuerzas permite trazar, aproximadamente (en realidad habría que iterar), la forma de la cúpula sin tracciones, Figura 13.

Cerámica armada

La técnica gráfico-analítica de Eddy permitía calcular de manera sencilla las resultantes de tensiones N_φ, N_θ en una cúpula de revolución. De esta manera se podían localizar las zonas traccionadas y disponer armaduras metálicas. Como se ha visto los Guastavino trataban de evitar en lo posible la aparición de tracciones disponiendo zunchos a una altura conveniente, colocando bovedillas de estribo, o modificando la forma de la cúpula, Figura 14. Pero en ocasiones es invitable la aparición de ciertas tracciones y flexiones: este es el caso de la zona próxima a las linternas. Por ello, Guastavino Expósito estudió

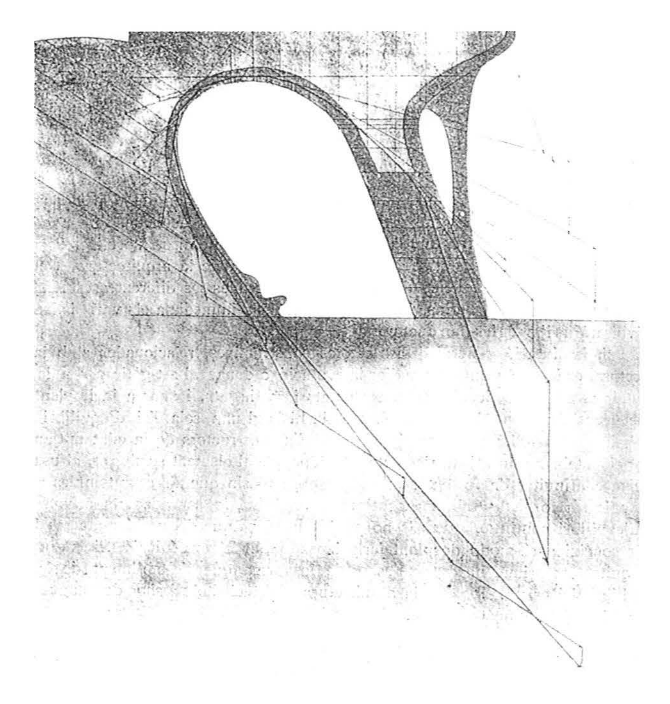


Figura 16.
Cálculo gráfico de Gaudí para las columnas del parque Güell (Rubió, 1913)

el problema y, finalmente, patentó un procedimiento en 1910, Figura 15.

Los análisis de equilibrio de Gaudí

Gaudí no publicó apenas ningún escrito y, por tanto, sólo tenemos referencias indirectas de sus ideas sobre el proyecto de estructuras. Sí sabemos qué métodos desarrolló y aplicó. En el artículo de Rubió (1913) se describen estos métodos y la importancia que tenían en el proyecto.

Gaudí realizó siempre estudios de equilibrio, con las líneas de empuje contenidas dentro de la fábrica, tabicada o no. Pero también investigó con otros materiales, como el hierro, el hormigón o la cerámica armada.

Las herramientas empleadas eran la estática gráfica, Figura 16, para los casos sencillos, y los modelos colgantes para el proyecto de edificios. Empleó estos modelos, por ejemplo, para el proyecto de la iglesia de la colonia Güell, Tomlow (1989).

El análisis elástico: Domenech, Bayó, Terradas

Como se ha visto la Tabla de G. Lanza al final del *Essay* de 1893 supone, probablemente, la primera evidencia del cálculo elástico de un arco tabicado. Para entender la aparición y desarrollo del análisis elástico de bóvedas tabicadas, hay que considerar el contexto de la evolución de la teoría del arco de fábrica.

La primera teoría científica de bóvedas que se desarrolló en los siglos XVII al XIX consideraba la fábrica como un material rígido unilateral (que no resiste tracciones). Los análisis eran de equilibrio o de rotura, pero siempre la condición era que la línea de empujes, la trayectoria de las cargas, debía estar contenida con suficiente seguridad dentro del arco. No se hacían suposiciones sobre condiciones de contorno, tales como empotramiento de los apoyos,... y tampoco se hacían otras afirmaciones sobre el material, además de su poca o nula resistencia a tracción. En estas condiciones, la posición de la línea de empujes quedaba indeterminada y se aplicaba, como método de garantizar la seguridad, la condición de poder encontrar una línea de empujes en equilibrio con las cargas contenida dentro del tercio central (ver por ejemplo, Rankine, 1858).

La indeterminación en la posición de la línea de empujes, debida al hiperestatismo de los arcos, se consideró un defecto de la teoría y, desde, circa 1860 se planteó la posibilidad de realizar un análisis elástico de los arcos de fábrica. De hecho, desde 1850 en los manuales de ingeniería aparecía la distinción entre «arcos rígidos» (de fábrica de piedra o ladrillo) y «arcos elásticos» (de madera o hierro).

El carácter de la fábrica, heterogéneo, anisótropo y unirresistente, hizo que los ingenieros tardaran unos treinta años en decidirse a aplicar el cálculo elástico a los arcos de fábrica, hacia 1880. Era la época del apogeo de la teoría elástica que tenía el marchamo de la precisión, la elegancia matemática y la modernidad. A finales del siglo XIX la teoría moderna, y «correcta», del arco de fábrica era la teoría elástica. Los métodos clásicos de equilibrio y rotura, aunque se siguieron aplicando, pasaron a formar la «antigua teoría de bóvedas». Así, pues, parecía lógico aplicar también los métodos elásticos a las bóvedas tabicadas.

En España, las contribuciones sobre el cálculo de bóvedas tabicadas son muy escasas. Ya se han citado las menciones indirectas de Bergós a los métodos de Gaudí. La primera publicación en la que se discute la necesidad de considerar la resistencia a flexión de las bóvedas tabicadas es la de Domenech (1900). Para Domenech no hay duda que la única explicación del éxito de las delgadas bóvedas tabicadas proviene de su capacidad de resistir flexiones que puede llegar a anular el empuje horizontal:

> El secreto mecánico de la construcción de estas bóvedas ... está en no limitar el cálculo de los mismos a la resistencia al esfuerzo de compresión de los materiales empleados, sino aprovechar también las resistencias a la tensión y al esfuerzo transversal que ofrecen nuestros ladrillos auxiliados por los morteros de cal o cemento.

Utilizando estas dos resistencias pudo atreverse el constructor catalán a sujetar sus bóvedas a cargas incompresibles en otro ... siempre con pequeño empuje horizontal en sus apoyos y hasta algunas veces reduciéndose éste a cero.

De nuevo aparece la idea del monolitismo rígido de Espie, el mito de la ausencia de empujes.

Después, Domenech hace un análisis lúcido del funcionamiento de los arcos tabicados tomando como ejemplo el caso de una carga uniforme, caso para el que la línea de empujes es una parábola. Observa que si la directriz del arco coincide con la de la línea de empujes, silos arcos fueran exactamente parabólicos, sólo habría compresiones, pero como se aparta «por lo general la forma de la directriz de la bóveda de la de la línea de presiones, es preciso recurrir a la fuerza tensiva del ladrillo y a la resistencia [a tracción] de los materiales de unión». A continuación explica la forma de hallar los momentos flectores y los esfuerzos cortantes y normales, para una línea de empujes dada. Finalmente, discute el problema de la posición de la línea de empujes, considerando la posibilidad de la formación de grietas («juntas de rotura») en el arco, Figura 17.

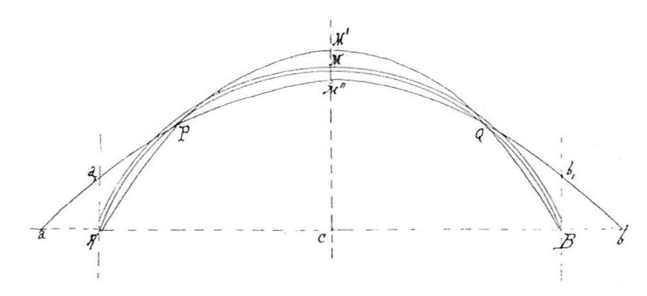


Figura 17.
Posibles posiciones de la línea de empujes en arco tabicado escarzano (Domenech, 1900)

El dibujo de Domenech muestra las líneas de empujes fuera de la fábrica y produciendo flexiones. Esta situación no es posible que se mantenga mucho tiempo debido a la escasa resistencia a tracción de la fábrica y, sobre todo, a su carácter frágil, a la posibilidad de formar grietas con muy poca energía. De hecho, Domenech comete un error muy frecuente: identifica como estructura sólo la bóveda, olvidándose de los rellenos de los arranques y de los tabiquillos transversales o lengüetas. Estos elementos *son también estructura* y ofrecen caminos alternativos de los empujes a los contrarrestos (estribos o muros de fábrica, una viga horizontal metálica sujetala por tirantes, etc.). De hecho, posibilitan la resistencia de sobrecargas alternadas y cargas móviles como ya indicó Guastavino en su *Essay*.

Consideraciones análogas en cuanto a la resistencia a flexión y la consiguiente reducción del empuje se recogen en el apartado «Procedimientos de cálculo» del artículo de Martorell (1910):

Los procedimientos de mecánica gráfica utilizados generalmente, aplicados a los arcos de ladrillo y de un modo especial a las bóvedas tabicadas, dan resultados más desfavorables de los que en realidad corresponden ... La cohesión, la rigidez de las bóvedas tabicadas, disminuye en gran manera su empuje y a la vez permite darles formas inverosímiles, tal si fueran láminas metálicas.

Alude a las distintas posiciones de la línea de empujes e, implícitamente, a la aparición de flexiones, resaltando la necesidad de realizar ensayos que permitan calcular «los coeficientes que se usen en el cálculo para evaluar la resistencia a la flexión y los esfuerzos transversales de las bóvedas tabicadas».

Jaime Bayó (1910) es el primero en proponer el análisis elástico de las bóvedas tabicadas. En su artículo las asimila a arcos metálicos (biarticulados), criticando el empleo de los métodos para el cálculo de arcos de dovelas:

[Al] calcular esta bóveda [tabicada] ... sujetándola a la curva de presiones de la bóveda dovelada, nace un error, que es suponer que sólo trabajan a la compresión, y no es así, puesto que trabajan también a la tensión, siendo cual lámina metálica sujeta a la flexión.

Para Bayó las bóvedas tabicadas empujan, pero este empuje es el del arco biarticulado elástico correspondiente.[20] Se trata, pues, de hallar el lo que llama el «funicular de las fuerzas elásticas», esto es, la línea de empujes que, además de estar en equilibrio con las cargas, cumple las condiciones de compatibilidad elástica de deformación. Bayó da las fórmulas con las integrales usuales y, luego, explica un procedimiento gráfico de resolución, aplicándolo primero a arcos simétricos de espesor constante o variable, y después a arcos asimétricos. Explica también cómo calcular las tensiones de compresión y tracción, y cita los ensayos de resistencia de Guastavino como referencia a la hora de considerar los siguientes valores de tensiones admisibles: compresión 1,5 N/mm^2, tracción 0,4 ó 0,5 N/mm^2 y cortadura 0,6 N/mm^2. El artículo termina con algunas consideraciones sobre el proyecto de bóvedas tabicadas en las que recomienda ajustar el espesor (el número de hojas) a las tensiones de flexión. Observa que en el caso de las bóvedas rebajadas se puede calcular el empuje como si fueran de dovelas, trabajando sólo a compresión, pero que si son peraltadas es preciso adaptar su forma a la de la línea de empujes. Termina el artículo exponiendo un método para proyectar bóvedas tabicadas de cualquier forma, Figura 18:

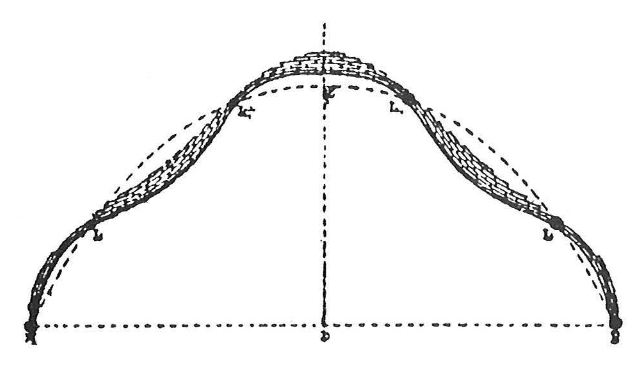


Figura 18.
Bóveda tabicada de forma singular (e imposible en la práctica) donde los espesores se proporcionan a los momentos (Bayó, 1910)

> Si ... se quieren construir bóvedas equilibradas o de igual resistencia, que respondan al proyecto sugerido por la imaginación del artista, se procederá como en la figura ... en que después de determinar el funicular de las fuerzas elásticas, se dan a la bóveda espesores relacionados con los momentos.

No tenemos noticia que de que se haya construido nunca una bóveda tabicada (de cualquier otra fábrica), sin armar, con esta forma y espesor, pero el dibujo muestra, mejor que ninguna otra imagen, la fe en la resistencia a tracción, en el cálculo elástico y en las propiedades cohesivas de las bóvedas tabicadas.

Finalmente, hay que hacer notar que el cálculo del arco tabicado corresponde al caso más elemental de estructura tabicada. Bayó no menciona ni siquiera el cálculo de formas más complejas y muy habituales: bóvedas vaídas, bóvedas de cañón con lunetos, bóvedas de arista y cúpulas. Para el cálculo de los esfuerzos en estos casos la única aproximación viable era el cálculo de equilibrio mediante estática gráfica o modelos colgantes. Como se ha visto ambas técnicas fueron empleadas por primera vez por Gaudí.

Consolidación del enfoque elástico-cohesivo. Bóvedas «imposibles de calcular»

Las ideas cohesivas formuladas primero por Espie, recogidas, ampliadas y difundidas por Guastavino, aplicadas después al cálculo elástico, se convirtieron en un dogma. Así, en su conocido libro *Filosofía de las estructuras*, de 1910, y que tuvo gran difusión en España, Cardellach encuadra a las bóvedas tabicadas dentro de la construcción cohesiva, resalta la capacidad de resistir flexiones[21] y, como Bayó, insiste en la infinita variedad de formas que pueden conseguirse.

Esteve Terradas, gran ingeniero y matemático, fue el primero en intentar un análisis elástico de una bóveda tabicada más compleja, una bóveda de escalera. La aportación de Terradas ha sido analizada en detalle por Rosell y Serrà (1987). En este contexto hay que resaltar que el estudio de Terradas tuvo su origen en un encargo de Puig y Cadafalch, en 1919, con el fin de resolver el problema que entonces planteaba el cálculo de las bóvedas tabicadas, pues, como dice Rosell, «las bóvedas de siempre, construidas por los albañiles "a sentimiento", eran consideradas como imposibles de calcular». Terradas reunió sus croquis, anotaciones y cálculos en una libreta, la «llibreta de la volta».[22]

Terradas intenta realizar un análisis elástico de la bóvedas y examina problemas elásticos que el conocía muy bien, en particular el de pandeo. Fracasa en su intento. El planteamiento de la ecuaciones de equilibrio elástico para una estructura espacial como una bóveda de escalera a montacaballo es muy complejo. No hay solución exacta y el empleo de los métodos aproximados supone tal cantidad de cálculos que no puede hacerse sin la ayuda de un ordenador. Terradas sigue trabajando en el tema y vuelve sobre él en su artículo de 1921 para la Enciclopedia Espasa. En el año 1927 da una conferencia que luego se publica en forma de libro sobre «La estabilidad geométrica en estructuras elásticas».[23] Se trata de un libro sobre teoría elástica sin ningún ejemplo de aplicación.

El fracaso de Terradas tuvo como consecuencia reforzar aún más la idea de la imposibilidad de calcular las bóvedas tabicadas. Josep Goday en su discurso de 1934 ante la Acadèmia Catalana de Belles Arts de Sant Jordi, realiza un repaso histórico del cálculo de las bóvedas tabicadas. Acepta las ideas cohesivas de Guastavino y coincide con Bayó y Terradas en que el único enfoque correcto es aquel que considera las bóvedas tabicadas como delgadas láminas continuas elásticas, dentro de la teoría elástica:

> Afortunadamente, nuestras bóvedas tabicadas reúnen el máximo de condiciones para adaptarse a la nueva teoría [elástica]. Estas bóvedas se comportan como verdaderas placas metálicas curvas en forma de arco ... Son bóvedas verdaderamente elásticas.

Al final del artículo Goday discute brevemente el análisis de membrana, si bien no parece apreciar que se trata de un análisis de equilibrio en el que no intervienen las características del material. La teoría de membrana, aunque como se ha visto data de la segunda mitad del XIX, se popularizó en Europa a partir de los años 1930, principalmente gracias a los trabajos teóricos y a las obras del ingeniero alemán Franz Dischinger, empleando cáscaras delgadas de hormigón armado.

Por tanto, se confirmaba la idea de que las bóvedas tabicadas sólo se deben calcular como elásticas y, si esta tarea presentaba dificultades insuperables, las bóvedas eran imposibles de calcular. Eduardo Torroja en su libro de 1956 abunda en esta opinión al hablar de la bóveda tabicada, «tan maravillosa en sus realizaciones, que difícilmente alcanzan los actuales conocimientos teóricos a explicar y medir su fenómeno resistente, genialmente intuido por constructores [ya] desaparecidos».

Bassegoda en sus numerosas aportaciones sobre la construcción tabicada (véase la Bibliografía al final del libro) realiza consideraciones parecidas y, muy recientemente, el profesor J. L. González consideró necesario realizar un ensayo de carga de una escalera con bóveda tabicada para estimar con fiabilidad su resistencia.

La práctica del cálculo

Como apuntó muy acertadamente Rankine (1858) en el ensayo introductorio de su libro de mecánica aplicada, si la pregunta del científico es «qué quiero saber», la del técnico es «qué quiero hacer». La insuficiencia teórica, real o supuesta, nunca ha detenido a los constructores que han manejado en cada momento las herramientas disponibles. Así, mientras los teóricos discutían sobre la imposibilidad de calcular las bóvedas tabicadas éstas se seguían construyendo y los arquitectos o ingenieros realizaban determinados cálculos para determinar las dimensiones de los elementos principales: el espesor de las bóvedas, y la dimensión de los sistemas de contrarresto (sean macizos de fábrica, tirantes o zunchos de hierro, vigas de hormigón, etc.).

Que los constructores pensaban que las bóvedas tabicadas empujaban queda demostrado por la existencia, desde siempre, de estos sistemas de contrarresto.[24] Guastavino realizaba cálculos y, como se ha visto, empleaba las fórmulas adecuadas aunque las hipótesis que originaban las fórmulas estaban en frontal oposición a su teoría cohesiva. Luis Moya (1957) el último gran constructor de bóvedas tabicadas reconoce la insuficiencia del cálculo debido a la falta de datos sobre las constantes elásticas de las bóvedas tabicadas, pero después realiza, o manda realizar, cálculos de equilibrio en base a líneas de empujes que le bastaron para proyectar y construir sus asombrosas bóvedas.

Bosch (1947) idea un ingenioso sistema (inspirado, sin duda, en los antiguos manuales de la vieja teoría de bóvedas) para calcular el empuje de las bóvedas vaídas tabicadas, imaginando la formación de nervios cruceros virtuales sobre los que apoyarían a su vez unos arcos elementales producidos dando cortes paralelos a los arcos del contorno. De nuevo, es un método de equilibrio que busca encontrar un estado posible de compresiones dentro de la fábrica.

Bergós (1936, 1953, 1965) dedicó varios decenios a investigar las propiedades mecánicas de los muros y bóvedas tabicadas. Realizó ensayos sobre arcos tabicados de varios tamaños (hasta 3,20 m de luz) tratando de justificar la aplicación de la teoría elástica.[25] Pero en los ejemplos que aparecen en sus libros emplea, de nuevo, métodos gráficos de líneas de empujes, esto es, métodos de equilibrio.

Pereda Bacigalupi (1951) publicó uno de los últimos libros sobre cálculo de bóvedas tabicadas. Como Bayó supone los arcos biarticulados, sobre apoyos rígidos, y los calcula con las fórmulas habituales de los arcos elásticos. Aunque lleven tirante no introduce su deformación en el cálculo, con gran astucia pues, como se ha visto, esto conduciría a unas tensiones de flexión importantes. De hecho, aunque Pereda realiza un cálculo elástico no pretende contar con la resistencia a flexión de la bóveda tabicada. Explícitamente busca un espesor tal que la línea de empujes elásticos esté contenida dentro del tercio central. Para ello reduce las tensiones admisibles de tracción Pereda muestra un conocimiento de las propiedades del material superior a los anteriores predecesores en el cálculo elástico.

En la actualidad se ha aplicado el Método de los Elementos Finitos (MEF) al análisis de estructuras de bóvedas tabicadas. Gulli (1993, 1994, 1995) ha hecho ensayos sobre bóvedas de cañón y ha realizado, después, un análisis elástico de MEF. El MEF, como el cálculo elástico tradicional, asimila la fábrica a un continuo al que atribuye ciertas propiedades elásticas y tiene que prefijar unas condiciones rígidas de contorno (las condiciones en los apoyos tienen que ser establecidas). Estas afirmaciones de compatibilidad y sobre el material, junto con las de equilibrio estático, forman un sistema de ecuaciones que da una solución única. Este enfoque presenta varios problemas. En primer lugar, la resolución del sistema es muy sensible a pequeñas variaciones en las condiciones de contorno. Un pequeño descenso o giro, por ejemplo, en uno de los apoyos, aunque imperceptible a la vista, conducirá a una variación notable del sistema de esfuerzos internos (y el analista puede usar su programa de MEF para verificar este aserto). En segundo lugar, la fábrica tabicada dista mucho de ser un continuo y está, frecuentemente, agrietada. El empleo de programas de MEF que permiten un análisis no-lineal, por supuesto mejora el modelo, pero éste sigue siendo muy sensible a las variaciones en las condiciones de contorno, a la historia de carga de la estructura, a la formación de grietas en zonas inesperadas, etc. En resumen, el resultado de un análisis elástico o de MEF puede que sea poco significativo, o no lo sea en absoluto, a la hora de entender el

funcionamiento resistente de la estructura tabicada o de fábrica en cuestión.

La bóveda tabicada como bóveda de fábrica

La fábrica es un material heterogéneo que resiste bien la compresión, mal la tracción y en el que el rozamiento entre sus partes impide en la mayoría de los casos el deslizamiento. Así, las estructuras de fábrica resisten las cargas mediante esfuerzos de compresión que, para que no haya tracciones, tienen que estar contenidos en su interior. Finalmente, las tensiones de compresión en las fábricas son muy bajas, tanto, que los fallos de resistencia son muy raros.

En otro orden de cosas, las estructuras de fábrica se adaptan a las pequeñas variaciones en las condiciones de contorno formando grietas. Las grietas pueden variar a lo largo del tiempo (algunas son estacionales, otras aparecen al variar de nuevo las condiciones de los apoyos). Las grietas no son peligrosas; es más, es la capacidad de formar grietas la que da plasticidad a estas estructuras. Sí es peligrosa la existencia de movimientos que crezcan progresivamente. La estructura se distorsiona y, puede ocurrir, que la forma muy distorsionada no sea ya estable, como lo era la original. Este tipo de fenómenos se suele deber a procesos de asentamiento o a cambios en las condiciones de las cimentaciones.

Las anteriores afirmaciones se pueden hacer también para las bóvedas tabicadas. La resistencia a tracción que dan los ensayos no es despreciable en relación con la de compresión, pero ningún constructor sensato se fiaría de ella. En primer lugar, la fábrica es un material frágil y esto, en un sentido técnico, significa que el gasto energético para formar superficies de fractura, grietas, es muy pequeño. (Basta observar el modo de partir las piedras en una cantera o de derribar los tabiques en una demolición, a base de martillazos. A nadie se le ocurriría tratar de partir un material tenaz, como el acero o la madera, por este método.)

Por otro lado, en una estructura hiperestática de fábrica la formación de grietas es inevitable, pues siempre habrá pequeños movimientos de los apoyos, variaciones térmicas, defectos de construcción o de fraguado, etc. Las tensiones de tracción sólo se mantienen en elementos isostáticos. Por ejemplo, en las grandes gárgolas de granito del gótico, con hasta unos 2 m de vuelo, la tensión de tracción en el arranque puede ser de 1 N/mm^2, que no es despreciable, y las gárgolas han permanecido durante siglos. Esto es posible porque la gárgola es una ménsula isostática, puede moverse libremente, aunque el muro o botarel se desplace. Si el extremo de la gárgola estuviera apoyado en algo rígido, si fuera una viga empotrada apoyada hiperéstatica, con seguridad se partiría. Heyman (2001) discute, en este mismo sentido, una observación de Galileo sobre una columna apoyada en dos o tres apoyos.

Las bóvedas tabicadas tradicionales muestran las mismas patologías que las de piedra o rosca de ladrillo. Resulta interesante que la existencia de estas grietas no preocupase a los antiguos constructores más que cuando estaban «vivas» y crecían.

Por supuesto, la apertura de las grietas depende de la magnitud de los movimientos. Si los movimientos son pequeños, las grietas pueden tener el espesor de un cabello o estar aparentemente cerradas por la elasticidad de la fábrica, pero existen. El empleo de tirantes o zunchos metálicos reduce extraordinariamente las deformaciones en relación con las que se producen con los sistemas masivos de contrarresto. (Un giro muy pequeño en la cimentación de un estribo gótico puede producir una deformación apreciable en el arranque de la bóveda situado quizá 20 ó 30 m más arriba.)

Es cierto que la resistencia a tracción permite también una cierta resistencia a flexión. Las bóvedas tabicadas, construidas con morteros de fraguado rápido, pueden resistir al poco tiempo pequeñas cargas móviles: por ejemplo, un albañil puede andar sobre un delgado arco tabicado. La explicación de la resistencia de cargas mayores o por largos períodos de tiempo hay que buscarla en la existencia de otros dispositivos resistentes. Así, las lengüetas o tabiques transversales, o el relleno consistente, que forman la base de un forjado, son en realidad parte de la estructura resistente y permiten soportar cargas móviles de cierta entidad. Las bóvedas de cubierta precisan también de estos dispositivos, como indica Fray Lorenzo, y pueden verse siempre accediendo al bajo cubierta. Los Guastavino, además de usar con maestría los tirantes, zunchos o anillos de hierro, idearon distintos dispositivos con este fin: arbotantes tabicados, bóvedas de contrarresto, regruesamiento del material de cubierta, pesadas cornisas de piedra, etc., que pueden verse en los planos constructivos reproducidos en este libro. El principio es siempre el mismo: bien dar una vía de escape a los empujes cuando sea necesario, bien cargar de manera que aquéllos estén siempre contenidos en la fábrica.

La posibilidad de perforación de una bóveda sin que colapse, que se cita desde los tiempos de Espie como una característica de las estructuras cohesivas, la poseen también otras bóvedas de fábrica. Con cierta frecuencia un pináculo cae de un botarel y perfora una bóveda gótica de crucería sin que ésta colapse. Lo mismo ha ocurrido al caer campanas del armazón de madera sobre la bóveda inferior de piedra. Los bombardeos de la primera mundial agujerearon algunas bóvedas de la catedral de Reims, sin que éstas cayeran.

La resistencia a compresión de las bóvedas tabicadas es menor que la de otras fábricas, por su tendencia a

deshojarse. Por ejemplo, al formarse las grietas en un arco tabicado, el apoyo de articulación se produce sobre una de las hojas, que puede empezar a separarse de las otras que no reciben carga. Este defecto puede verse en algunas bóvedas tabicadas tradicionales y se puede apreciar en los ensayos de colapso. Guastavino usó en ocasiones ladrillos machihembrados para evitarlo. En Francia en el siglo XVIII se usaron también ladrillos en forma de grapa o curvados, posiblemente con el mismo fin. Por consiguiente, las bóvedas tabicadas no son adecuadas para grandes cargas. Nunca se emplearon, por ejemplo, para la construcción de puentes (el puente tabicado que aparece en el *Essay* de Guastavino es un puente peatonal).

Finalmente, hay que señalar que los fallos por deslizamiento son también excepcionalmente raros en el caso de las estructuras tabicadas. El rozamiento entre los elementos tabicados, aún despreciando la cohesión (por ejemplo en una grieta), es muy alto.

En conclusión, el carácter «cohesivo» no es una cualidad fundamental del material en cuanto a su comportamiento estructural. La cohesión sólo se emplea durante la construcción. Es el empleo de morteros de fraguado rápido y ladrillos ligeros lo que permite que las bóvedas tabicadas se puedan construir sin cimbra, al aire, usando sólo formas para controlar la geometría. Terminada la bóveda, ésta empuja, se agrieta, funciona exactamente igual que una bóveda de fábrica.

Análisis límite de las bóvedas tabicadas

Las observaciones fundamentales sobre el material «fábrica» que se han citado antes, buena resistencia a compresión (además, con tensiones bajas), mala resistencia a tracción e imposibilidad de fallo por deslizamiento, eran bien conocidas por los ingenieros de los siglos XVIII y XIX que basaron su «antigua teoría» de bóvedas en estas características. El profesor Heyman ha sistematizado estas afirmaciones con el fin de poder englobar la teoría de estructuras de fábrica dentro del marco más general del Análisis Límite. Desde su primer artículo de 1966 hasta la actualidad ha expuesto la teoría aplicándola después a elementos estructurales básicos —arbotantes, cúpulas, bóvedas de crucería, agujas y torres, puentes, etc.— con el fin de aclarar su aplicación (los artículos se han recopilado en Heyman 1995; una exposición de la teoría en Heyman, 1999). En lo que sigue se expondrá brevemente esta teoría.

Se considera la estructura de fábrica formada por un material rígido-unilateral, que resiste compresiones pero no resiste tracciones. Es decir, imaginamos la fábrica como un conjunto de bloques indeformables en contacto seco y directo que se sostienen por su propio peso. Supondremos también que las tensiones son bajas, no habiendo peligro de fallo por resistencia, y que el rozamiento entre las piedras es suficientemente alto como para impedir su deslizamiento.

Estas tres hipótesis dan lugar a los Principios del Análisis Límite de las Fábricas:

(1) la fábrica presenta una resistencia a compresión infinita;
(2) la fábrica tiene una resistencia a tracción nula;
(3) el fallo por deslizamiento es imposible.

La hipótesis (1) va ligeramente en contra de seguridad y se comprobará mediante un cálculo numérico. La suposición (2) va, evidentemente, a favor de seguridad. Finalmente, la hipótesis (3), vuelve a estar en contra de seguridad, si bien los casos de deslizamiento entre piedras son muy raros.

La condición de estabilidad de una fábrica construida con un material que cumpla los principios anteriores exige que la trayectoria de las fuerzas, la «línea de empujes», esté contenida dentro de la estructura; esto es, para cada sección hipotética de la estructura la resultante de las fuerzas debe estar contenida en su interior.

Teorema de la seguridad

En general, la estructura será hiperestática y, en consecuencia, se pueden encontrar infinitas líneas de empujes contenidas dentro de la fábrica, que corresponden a las infinitas situaciones de equilibrio posibles (la línea de empujes no es más que una representación gráfica de las ecuaciones de equilibrio). Si se cumplen los principios del análisis límite enunciados antes se pueden demostrar los Teoremas Fundamentales del Análisis Límite. Nos interesa en particular el Teorema Fundamental de la Seguridad: Dada una estructura, si es posible encontrar una situación de equilibrio compatible con las cargas que no viole la condición de límite del material (esto es, que no aparezcan tracciones) la estructura no colapsará. Aplicado a las fábricas: si es posible dibujar una línea de empujes (o un conjunto de líneas de empujes) en equilibrio con las cargas contenidas dentro de la estructura la estructura no se hundirá.

La potencia del Teorema radica en que la línea de empujes, es decir, la situación de equilibrio, puede ser elegida libremente. Escogida una línea, podremos aplicar las condiciones de seguridad a cada una de las secciones que atraviesa y obtener, de esta forma, un límite inferior para el coeficiente de seguridad geométrico (Heyman, 1982): sabemos que la estructura tiene al menos ese coeficiente de seguridad —en general, sería posible encontrar una línea de empujes que diera una situación más favorable.

El problema de la seguridad de las fábricas es, pues, un problema de estabilidad al vuelco. De los tres criterios fundamentales que debe cumplir una estructura (resistencia, rigidez y estabilidad), es éste último el que gobierna el proyecto de las fábricas: las tensiones son bajas y las deformaciones pequeñas.

El criterio de estabilidad conduce a una visión de las estructuras de fábrica basada firmemente en la geometría: es la forma la que posibilita que las trayectorias de esfuerzos estén siempre dentro de los límites de la fábrica (para una exposición clara y muy detallada de este enfoque, véase Heyman, 1999). Por otra parte, el análisis límite admite las grietas como algo natural. De hecho un agrietamiento que no distorsione excesivamente la forma general de la estructura no reduce su seguridad.

El enfoque del equilibrio

Una de las consecuencias más importantes del Teorema de la Seguridad es que permite el enfoque del equilibrio. Es posible analizar y proyectar estructuras de fábrica simplemente empleando las ecuaciones de equilibrio y sin tener que hacer afirmaciones dudosas sobre el material y las condiciones de contorno. De hecho las únicas afirmaciones sobre el material son las citadas antes, y la única afirmación que se hace sobre las condiciones de contorno es que, si hay movimientos, éstos serán pequeños, de manera que las ecuaciones de equilibrio escritas antes y después de la deformación sean las mismas. (En una estructura seriamente distorsionada respecto a su forma original, pero estabilizada, el análisis se hará respecto a la forma actual distorsionada.)

Los análisis de equilibrio de la «antigua teoría» de bóvedas resultan ser, dentro del marco del Análisis Límite, perfectamente correctos (Huerta, 1990, 2001). Las fórmulas simplificadas de Guastavino padre, los análisis gráficos y el empleo de modelos catenarios de Gaudí, el análisis de membrana de estados de compresión de Guastavino hijo, son correctos. Para hablar con mayor precisión, son «seguros»: una estructura proyectada en base a ellas no se caerá y se puede emplear el mismo enfoque para medir su seguridad. No podría ser de otra manera, pues, de hecho, habían conducido a estructuras que llevan en pie más de cien años y esto es una demostración experimental concluyente.

Más aún, las reglas proporcionales tradicionales de proyecto de bóvedas y estribos (del tipo de las de Fray Lorenzo) también son esencialmente correctas. El problema de la seguridad de una bóveda de fábrica (de piedra, rosca de ladrillo, adobe, tabicada, o de hormigón romano) es un problema de la forma geométrica de la estructura. Las formas estables contienen líneas de empujes en equilibrio con las cargas. Las reglas tradicionales codifican estas formas y su empleo es racional y correcto. (Por supuesto estas reglas son particulares para cada tipo de estructura: un estribo gótico no soportaría el empuje de una bóveda romana.)

Conclusión

Las bóvedas tabicadas son bóvedas de fábrica y se comportan estructuralmente de la misma manera. Los métodos de análisis empleados deben respetar las características esenciales de este material y el marco teórico más adecuado es el del moderno Análisis Límite de Estructuras de fábrica. El Teorema de la Seguridad garantiza la corrección de los análisis de equilibrio (gráficos o analíticos) que pueden usarse con ventaja hoy día. La exactitud de un análisis viene dada por la corrección de las hipótesis de partida y no por la herramienta de cálculo empleada: un sencillo análisis gráfico puede ser mucho más exacto que un análisis por ordenador.

El carácter «cohesivo» no es relevante desde el punto de vista estructural. Sí lo es desde el punto de vista constructivo. Permite la construcción sin cimbra, empleando sólo ligeros elementos auxiliares de control de la forma. Las bóvedas tabicadas pertenecen a esta familia de bóvedas que se construyen sin cimbra, que incluye también las bóvedas de rosca de ladrillo bizantinas, las

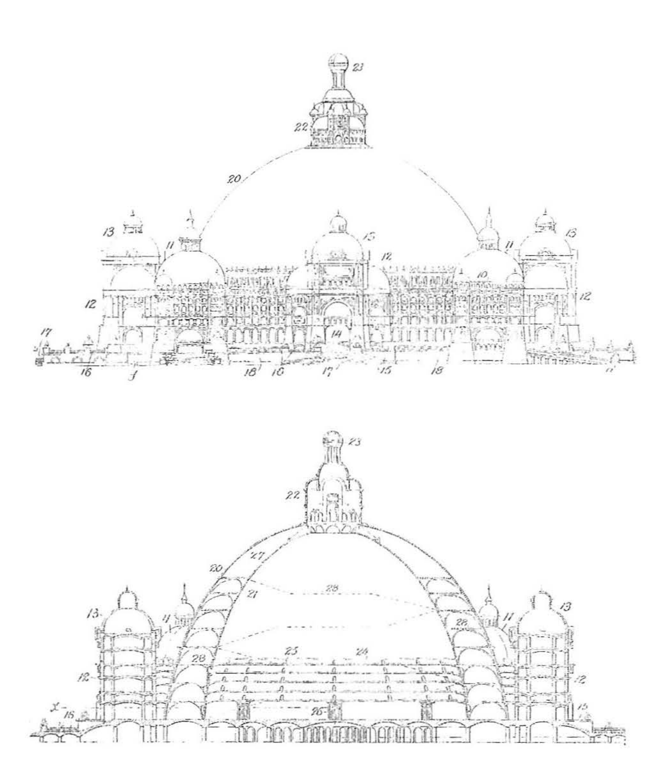


Figura 19.
Último proyecto de Guastavino padre recogido póstumamente en una patente de 1909

de tubos huecos del norte de África, las de hojas inclinadas de Babilonia o Egipto, etc. Las bóvedas tabicadas presentan, además, una cierta resistencia a la flexión que permite el paso de pesos ligeros apenas terminadas, facilitando aún más el proceso constructivo.

La teoría cohesiva de Guastavino es, pues, falsa. Pero hay que tener en cuenta cuando se produjo y qué precedentes tuvo. Guastavino tenía que «pensar», elaborar sus teorías, en el marco de ideas de finales del siglo XIX, poco adecuado para la construcción de fábrica. Esta «esquizofrenia» de pensar de una forma y construir de otra se refleja en las numerosas contradicciones de su *Essay*, como creemos haber demostrado.

No obstante, la teoría cohesiva y su relación casi mística con la naturaleza suministró a Guastavino la energía para llevar a cabo su obra, y le llevaron a una perfección constructiva del sistema tabicado desconocida hasta entonces. Guastavino no es un simple constructor, no es un empresario avispado que exportó y patentó un sistema constructivo que ni siquiera era suyo. Es un arquitecto que quiso llevar la construcción de fábrica a su perfección. Para ello viajó a América, renunció a firmar proyectos y se hizo constructor, y empleó el sistema constructivo que le parecía más adecuado: el sistema tabicado. Que Guastavino era en cierto modo un visionario, cosa no infrecuente a finales del s. XIX, lo demuestran sus escritos de los *Prolegómenos* y se manifiesta en su última patente, presentada en 1905 y aprobada póstumamente en 1909, que no es más que un gran proyecto «ideal» de construcción tabicada, Figura 19.

Notas

1. Véase Collins (1968). Todavía hoy el mejor trabajo escrito sobre Guastavino.
2. He podido observar estas grietas en numerosas ocasiones. Por ejemplo, en la iglesia del Convento de San Francisco en León, las bóvedas tabicadas de cañón con lunetos, de unos 9 m de luz y sólo 8 cm de espesor, presentaban la típica grieta longitudinal en la clave. La media naranja sobre pechinas en el crucero, de también 9 m de luz, presentaba un agrietamiento meridional típico de las cúpulas. No obstante, las grietas eran de décimas de mm y sólo podían observarse desde el trasdós. En la iglesia de Castroverde de Campos, la bóveda de cañón con lunetos, rebajada con perfil elíptico presenta el mismo agrietamiento. Podrían citarse muchos casos más.
3. En el libro de Lemma (1996) se incluye una reproducción facsímil y la traducción al italiano.
4. «Parallelle des voûtes ordinaires avec les voûtes plates», Espie (1754): 40-58.
5. «. . . car je ne suis pas du sentiment de ceux qui croient que ces Voûtes poussent les murs». Espie (1754): 44.
6. Sobre la génesis del libro véase el ensayo de Janet Parks, «Génesis del "Ensayo sobre la construcción cohesiva" de Rafael Guastavino», pp. ???-??? , del presente libro. Una edición española se publicará en breve: R. Guastavino *Ensayo sobre la construcción cohesiva, con particular atención a la bóveda tabicada* ed. por S. Huerta; traducción G. López. Madrid: Instituto Juan de Herrera/CEHOPU.
7. Esta afirmación de Guastavino parece más que discutible. Ya se ha visto la presencia constante en los tratados españoles desde el siglo XVII. Es, también, un hecho significativo que una parte importante del tratado de Fornés y Gurrea, publicado en Valencia en 1841 (2a. ed. 1857), está dedicado a la construcción tabicada. Fornés usa sistemáticamente bóvedas tabicadas en las especificaciones constructivas de su *Álbum de proyectos* de 1846. Parece, pues, que la construcción tabicada era bien conocida en Valencia a mediados del siglo XIX, por no hablar de las extraordinarias cúpulas tabicadas que existen en la ciudad. En cuanto al resto de España, hay que decir que en el tratado de Ger y Lóbez, publicado en Badajoz en 1869, también se hace explica la construcción tabicada, al mismo nivel que la de rosca de ladrillo o piedra.
8. Por esa misma época Monier inventa el hormigón armado en Francia en 1861. Después Hennebique difundió por todo el mundo el empleo de este nuevo materia, Delhumeau (l999). En América Hyatt realiza los primeros ensayos en 1877, Newlon (1976), y para finales de siglo era un material conocido, Condit (1960). Cuando Guastavino escribe el *Essay* y, sobre todo, cuando escribe, los *Prolegómenos* a principios del siglo XX era evidente que este nuevo material era una buena alternativa constructiva. No obstante, aunque en estos libros se discute la aplicación del hierro forjado, no se hace ninguna referencia al hormigón armado.
9. El profesor Heyman ha llamado la atención en numerosas ocasiones sobre este hecho; véase, por ejemplo, Heyman (1999, 2001). De hecho, las reglas tradicionales dominaron el proyecto de estructuras de fábrica desde la antigüedad, si bien, desde el comienzo del cálculo científico fueron consideradas incorrectas, al no tener, según los ingenieros de la época, un fundamento científico. No obstante se siguieron empleando y aparecen en todos los manuales de construcción de fábrica hasta principios del siglo XX.; para un estudio detallado de los distintos tipos de reglas y su grado de validez, véase Huerta (1990 , 1999).
10. Sobre el desarrollo histórico de la teoría de arcos y bóvedas de fábrica, véase: Heyman (1982), Benvenuto (199) y Huerta (1996).
11. No es de ningún modo una excepción en la historia del desarrollo de las ciencias y de las técnicas. Con alguna frecuencia, la idea motriz, aquella que entusiasma al científico o al artista es falsa, pero el impulso permite desarrollar otras ideas, estas correctas, que suponen un avance en la disciplina en cuestión. Koestler (1964) cita, entre otros ejemplos, el caso de Kepler que, obsesionado toda su vida por la armonía geométrica del movimiento de las esferas, descubrió unas leyes que destruyeron para siempre el ideal geométrico griego del movimiento de los astros.
12. El fenómeno es bien conocido desde la antigüedad. Las primeras interpretaciones de los agrietamientos como re-

sultado de movimientos de los apoyos aparecen a mediados del siglo XIX. Los primeros estudios sistemáticos se deben al profesor Heyman. Véase, por ejemplo, Heyman (1999).

13. Es interesante comparar los ensayos, y las fotos, con los realizados por Hennebique sobre el hormigón armado. Véase Delhumeau (1999).
14. El coeficiente de seguridad de 10 aplicado a las fábricas tiene, en realidad, un origen distinto. La resistencia de una fábrica depende de la resistencia de las piedras, de la forma y dimensión de las juntas de mortero, y de la resistencia del propio mortero, como demostraron los ensayos de Tourtay (1885). Así, para sacar coeficientes de rotura habría que ensayar bloques de fábrica de cierto tamaño. Sin embargo, los primeros ensayos se hicieron sobre pequeñas piezas de piedra. Sabiendo que la resistencia de la fábrica sería mucho menor, los ingenieros del XIX tomaban, de forma empírica, como resistencia admisible de la *fábrica* 1/10 de la resistencia a rotura de la *piedra*. Por supuesto, la regla no se aplica a los ensayos que se realizan sobre probetas de fábrica, como es el caso de Guastavino. Este hecho condujo a una confusión considerable en los manuales de ingeniería de finales del siglo XIX y, muchas veces, a valores de la tensión admisible de las fábricas absurdamente bajos.
15. El libro de Dejardin fue muy popular en la segunda mitad del siglo XIX pues incluía reglas y observaciones de interés práctica. La regla para obtener la variación del espesor del trasdós es más antigua. Se origina en el análisis de equilibrio de La Hire (1695) de un arco semicircular formado por dovelas rígidas sin rozamiento. Para que haya equilibrio, la condición es, precisamente, que el peso de las dovelas, i.e. su espesor, varíe con el inverso del coseno. Frézier fue el primero en proponer en base a esto arcos de sección variable. Después fue habitual en arcos de puente, pero no en arcos de edificios (Huerta, 1990). En el caso de las bóvedas tabicadas, que soportan sobrecargas moderadas, no parece necesario dadas las bajas tensiones de trabajo. No obstante, la opción es lógica si se considera que el problema es de resistencia (aunque no lo sea) como sucede con Guastavino.
16. La idea fue, de nuevo, sugerida por Frézier que, razonando de forma parecida, afirma que el empuje de las bóvedas esféricas es siempre meno de la mitad que el de las de cañón de la misma directriz y espesor, Huerta (1990).
17. «No pretendemos dar una fórmula matemática absoluta, sino una práctica, que baste para garantizar la seguridad de la construcción» (*Essay*, 68, 72).
18. En el archivo Guastavino de la Avery Library , se conserva un mecanoscrito para un artículo de revista de 1929 y el texto de una conferencia de ca. 1914.
19. La historia de este método resulta interesante. El libro de Eddy se tradujo al alemán, *Neue Constructionen aus der graphischen Statik* (Leipzig, 1880), así, es posible que Föppl lo conociera aunque no lo cite. Dischinger (1928) lo expone como un método gráfico analítico para el cálculo de esfuerzos en cáscaras de forma cualquiera, de nuevo, sin citar origen. A partir de entonces aparece en muchos manuales.
20. Con buen criterio, cuando el arco lleva tirante calcula su empuje como si fuera biarticulado. El considerar la elasticidad del tirante conduciría a unas tensiones de flexión mucho más altas. Además, construyéndose las bóvedas tabicadas sin cimbra, el tirante se va estirando ya durante la construcción. Ésta seguramente es la explicación de por qué las bóvedas tabicadas atirantadas no están agrietadas.
21. Cita una serie de ejemplos como prueba, todos ellos tomados de Guastavino (1892), «cuya única y evidente explicación estriba en admitir la elasticidad de las formas tabicadas y en considerar que se verifica en ellas la ley de la flexión, que nos dice cuánto crece una resistencia con el incremento del momento de inercia de la forma correspondiente».
22. El profesor Rosell me facilitó una fotocopia de esta libreta y tuvo la amabilidad de comentar conmigo distintos aspectos del trabajo de Terradas. Le estoy por todo ello muy agradecido.
23. E. Terradas. 1927. *De la estabilidad geométrica en estructuras elásticas*. Madrid: Talleres Voluntad. El profesor Rosell me facilitó este libro.
24. Un caso análogo es de la construcción romana que ha sido considerada como monolítica y sin empujes por algunos arquitectos e ingenieros. Esta idea se contradice con la presencia de grandes masas de hormigón funcionando de estribo, en todos y cada uno de los monumentos abovedados. Suponer que los ingenieros romanos eran ignorantes hasta el punto de realizar gastos enormes de forma inútil contradice, no sólo el carácter romano, acertadamente descrito por Choisy, si no la evidencia histórica. De hecho, las fábricas romanas no resisten tracción, como las tabicadas, y como ellas se agrietan y empujan.
25. Un caso análogo se produjo con los ensayos a gran escala, con arcos de más de 20 m, realizados por los arquitectos e ingenieros austríacos en 1898. Los ensayos, donde se produjeron colapsos por formación de mecanismos y eran evidentes las rótulas plásticas (idea entonces desconocida), fueron interpretados como una confirmación de la teoría elástica. Para una discusión más detallada, véase Huerta (2001).

Bibliografía

Bails, Benito. 1796. *Elementos de Matemáticas. Tomo IX. Parte I. Que trata de la Arquitectura Civil.* Madrid: Imprenta de la Viuda de Joachim Ibarra (reimpr. facs. Murcia: C. O. de Aparejadores y Arquitectos Técnicos,1983).

Bannister, T.C. 1968. «The Roussillon Vault. The Apotheosis of a "Folk" Construction». *Journal of th Society of Architectural Historians,* 27:163–75.

Bayó, Jaime. 1910. «La bóveda tabicada». *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña*:157–84.

Bélidor, B.F. (1729). *La science des ingénieurs dans la conduite des travaux de fortification et architecture civile.* Paris.

Benvenuto, Edoardo. 1991. *An Introduction to the History of*

Structural Mechanics. Part II: Vaulted Structures and Elastic Systems. New York/Berlin: Springer Verlag.

Bergós Massó, Juan. 1936. *Formulario técnico de construcciones.* Barcelona: Bosch.

Bergós Massó, Juan. 1953. *Materiales y elementos de construcción.Estudio experimental.* Barcelona: Bosch.

Bergós Massó, Juan. 1965. *Tabicados huecos.* Barcelona: Colegio de Arquitectos de Cataluña y Baleares.

Blondel, J.F. 1771–77. *Cours d'Architecture, ou Traité de la décoration, distribution et construction des bâtiments... continué par M. Patte.* Paris: Chez la Veuve Desaint. 6 vols. texto, 3 vols. láminas.

Bosch Reitg, Ignacio. 1949. «La bóveda vaida tabicada». *Revista Nacional de Arquitectura*:185–99.

Cardellach, Félix. 1970. *Filosofía de las Estructuras. Filiación racional de las formas resistentes empleadas en la ingeniería y en la arquitectura histórica y moderna...* Barcelona: Editores Técnicos Asociados (1a. ed. 1910).

Collins, George R. (1968). «The Transfer of Thin Masonry Vaulting from Spain to America». *Journal of the Society of Architectural Historians,* 27: 176–201.

Condit, Carl W. 1960. *American Building Art: The nineteenth century. The twentieth century.* New York: Oxford University Press. 2 vols.

Coppet Berg, Louis de. 1889. *Safe building.* Boston: Ticknor.

Dejardin, M. 1860. *Routine de l'etablissement des voutes ou recueil de formules pratiques et de tables déterminant a priori et d'une manière élémentaire le tracé, les dimensions d'équilibre et le métrage des Voûtes d'une espèce quelconque.* 2a Ed. Paris: Dalmont et Dunod.

Delhumeau, G. 1999. *L'invention du béton armé: Hennebique 1890–1914.* Paris: Éditions Norma.

Dischinger, Franz. 1928. *Schalen und Rippenkuppeln.* (4a ed. Handbuch der Eisenbetonbau. VI Band, Zweiter Teil., F. von Emperger (ed.). Berlín: Verlag von Wilhelm Ernst und Sohn.

D'Olivier. 1837. «Relatif à la construction des voûtes en briques posées de plat, suivi du recherches expérimentales sur la poussée de ces sortes des voûtes». *Annales des Ponts et Chaussées, 1er série*: 292–309, Pl. 129.

Domenech y Estapá, José. 1900. «La fábrica de ladrillo en la construcción catalana». *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña*: 37–48.

Dunn, W. 1904. «Notes on the Stresses in Framed Spires and Domes». *Journal of the Royal Institute of British Architects, Third series,* 11 (Nov. 1903 - Oct. 1904): 401–412.

Dunn, W. 1908. «The Principles of Dome Construction». *Architectural Review,* 23: 63-73; 108–112.

Eddy, Henry T. 1878. *Researches in Graphical Statics.* New York: Van Nostrand.

Espie, Comte d'. 1754. *Manière de rendre toutes sortes d'édifices incombustibles, ou Traité sur la construction des voûtes, faites avec des briques et du plâtre, dites voûtes plates, et d'un toit de brique, sans charpente, appelé comble briqueté.* Paris: Duchesne.

Fontaine, H. 1865. «Expériences faites sur la stabilité des Voûtes en briques» *Nouvelles Annales de la Construction,* 11e. année, pp. 149–159, Plate 45.

Föppl, August. 1881. *Theorie der Gewölbe.* Leipzig: Felix.

Fornés y Gurrea, Manuel. 1841. *Observaciones sobre la práctica del arte de edificar.* Valencia: Imprenta de Cabrerizo. (reimpr. facs. Valencia: Librería París-Valencia, 1993).

Fornés y Gurrea, Manuel. 1846. *Álbum de proyectos originales de arquitectura, acompañado de lecciones explicativas.* Valencia: Imprenta de D. Mariano Cabrerizo. (facs. Madrid: Ediciones Poniente, 1982).

Fornés y Gurrea, Manuel. 1857. *Observaciones sobre el arte de edificar.* Valencia: Imprenta de D. Mariano Cabrerizo. (facs. Madrid: Ediciones Poniente, 1982).

Fortea Luna, Manuel y Vicente López Bernal. 1998. *Bóvedas extremeñas. Proceso constructivo y análisis estructural de bóvedas de arista* Badajoz: Colegio Oficial de Arquitectos de Extremadura.

Frézier, A.F. 1769. «De la poussée des voûtes». *La Theorie et la Pratique de la Coupe des Pierres...* nouv. éd. Paris: Charles-Antoine Jombert, 3: 345–413,

García Berruguilla, Juan. 1747. *Verdadera práctica de las resoluciones de la Geometría...* Madrid: Imprenta de Lorenzo Francisco Mojados (reimpr. facs. Murcia: C. O. de Aparejadores y Arquitectos Técnicos, 1979).

Ger y Lobez, Florencio. 1915. *Manual de construcción civil.* 2a. ed. Badajoz: La Minerva Extremeña (1a. ed. Badajoz, 1869).

Goday, Josep. 1934. *Estudi històric i mètodes de càlcul de les voltes de maó de pla* Barcelona: Acadèmia Catalana de Belles Arts de Sant Jordi.

González Moreno-Navarro, José Luis. 1999. «La bóveda tabicada. Su historia y su futuro». En *Teoría e historia de la restauración. Vol. 1.* Madrid: Munilla-Llería: 237–59.

Guastavino Expósito, Rafael. 1914?. [Texto de una conferencia]. Mecanoscrito inédito. Guastavino Archives, Avery Library, Columbia University, New York.

Guastavino Expósito, Rafael. 1929. [Artículo sobre el sistema Guastavino]. Mecanoscrito inédito. Guastavino Archives, Avery Library, Columbia University, New York.

Guastavino Moreno, Rafael. 1889. «The theory and history of cohesive construction». *The American Architect and Building News,* 26: 218–20.

Guastavino Moreno, Rafael. 1890. «Cohesive construction. Applications, Industrial sections». *The American Architect and Building News,* 27, nE739: 123–9.

Guastavino Moreno, Rafael. 1893. «Cohesive construction: its past, present and future». *The American Architect and Building News,* 41, nE922: 125-9.

Guastavino Moreno, R. 1893. *Essay on the Theory and History of Cohesive Construction, applied especially to the timbrel vault.* Boston: Ticknor and Company. (1a. ed. 1892)

Guastavino Moreno, Rafael. *Prolegomenos on the function of masonry in modern architectural structures.* New York: Record & Guide Press, 1896.

Guastavino Moreno, Rafael. *The function of masonry in modern architectural structures.* Boston: America Printing Co., 1904.

Guastavino Moreno, Rafael. *Prolegomenos on the function of masonry in modern architectural structures.* New York: Record & Guide Press, 1896–1904.

Guastavino Moreno, Rafael. *Función de la mampostería en las modernas construcciones arquitectónicas. 1. Prolegó-*

menos a las funciones de la mampostería en las modernas construcciones arquitectónicas. 2. Funciones de la mampostería en las modernas construcciones arquitectónicas. S.l., s.n., s.a.

Gulli, R. «Le volte in folio portanti: Tecnica costruttiva ed impiego nell'edilizia storica e moderna». En *Atti del I Convegno Nazionale Manutenzione e Recupero nella Cittá Storica, ARCO*, 595B604. Roma: 1993.

Gulli, R. 1993. «Il sistema tabicado. Una tecnica tradizionale per il recupero». En *Atti del Convegno Internazionale: Il recupero degli edifici antichi, manualistica e nuove tecnologie,* 198B208. Napoli.

Gulli, R. 1994. «Una ipotesi di intervento conservativo per il recupero delle volte in folio portanti». En *Atti del Convegno di Studi: La ricerca del recupero edilizio, Ancona,* 51B62. Bolonia.

Gulli, R. y G. Mochi. 1995. *Bóvedas tabicadas: Architettura e costruzione.* Roma: CDP Editrice.

Heyman, Jacques. 1977. *Equilibrium of shell structures*. Oxford: Oxford University Press.

Heyman, Jacques. 1982. *The masonry arch*. Chichester: Ellis Horwood.

Heyman, Jacques. 1995. *Teoría, historia y restauración de estructuras de fábrica. Colección de ensayos.* ed. por S. Huerta. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Heyman, Jacques. 1999. *El esqueleto de piedra. Mecánica de la arquitectura de fábrica.* Madrid: Instituto Juan de Herrera / CEHOPU.

Heyman, Jacques. 2001. *La ciencia de las estructuras*. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Huerta Fernández, Santiago. 1990. *Diseño estructural de arcos, bóvedas y cúpulas en España, ca. 1500–ca. 1800.* Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Arquitectura.

Huerta Fernández, Santiago. 1996. «La teoría del arco de fábrica: desarrollo histórico». *Obra Pública,* NE 38: 18–29.

Huerta Fernández, Santiago. 1999. «The medieval 'scientia' of structures: the rules of Rodrigo Gil de Hontañón». *Omaggio a Edoardo Benvenuto, Genova 29-30 November, 1 December 1999.*

Huerta Fernández, Santiago. 2001. «Mechanics of masonry vaults: the equilibrium approach». *Structural analysis of historical constructions III. Possibilities of numerical and experimental techniques*. P. B. Lourenço y P. Roca, eds. Barcelona: CIMNE (en prensa; previsto nov. 2001)).

Koestler, Arthur. 1964. *The act of creation*. New York. Macmillan.

Lanza, Gaetano. 1891. *Applied mechanics*. New York: John Wiley and Sons. (1a. ed. 1885)

Lemma, Massimo. 1996. *Dei tetti ammattonati. Nuova edizione critica del tratatto scritto da Felix François d'Espie (1754)* Venezia: Il Cardo.

Lemmonier, M. Henry. 1920. *Procès-verbaux de l'Académie Royale d'Architecture, 1671–1793. Tome VI: 1744–1758.* Paris: Édouard Champion.

Marías, Fernando. 1991. «Piedra y ladrillo en la arquitectura española del siglo XVI.» *Les chantiers de la Renaissance,* J. Guillaume (ed.). París: Picard: 71–83.

Martorell, Jerónimo. 1910. «Estructuras de ladrillo y hierro atirantado en la arquitectura catalana moderna». *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña*: 119–146.

Moya Blanco, Luis. 1957. *Bóvedas Tabicadas.* Madrid: Ministerio de la Gobernación. Dirección General de Arquitectura (reimpr. facs. Madrid: C. O. de Arquitectos, 1993).

Newlon, Howard (ed.). 1976. *A Selection of Historic American Papers on Concrete, 1876-1926.* Detroit: American Concrete Institute.

Pereda Bacigalupi, Angel. 1951. *Bóvedas tabicadas. Cálculo y ejemplos resueltos* Santander: Editorial Cantabria.

Plo y Camín, Antonio. 1767. *El Arquitecto práctico, civil, militar y Agrimensor, dividido en tres libros... El II [contiene] la practica de hacer, y medir todo genero de Bóbedas y Edificios de Arquitectura...* Madrid: Imprenta de Pantaleón Aznar (reimpr. facs. Valencia: Librería París-Valencia, 1995).

Rankine, W. J. M. 1858. *A Manual of Applied Mechanics.* London: Charles Griffin. .

Rieger, P. Christino. 1763. *Elementos de toda la architectura civil,. . .* Madrid: Joachim Ibarra.

Rondelet, Jean. 1834–48. *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir.* Paris: Chez Firmin Didot (primera ed. París: 1802).

Rosell, Jaume e Isabel Serra. 1987. «Estudis d'Esteve Terradas sobre la volta de maó de pla». *Cinquanta anys de ciència i tècnica a Catalunya,* Barcelona: Institut dÉstudis Catalans, 23-33.

Rosenthal, E. E. 1988. *El palacio de Carlos V en Granada.* Madrid: Alianza Forma.

Rubió i Bellver, Juan. 1913. «Dificultats per a arribar a la sintessis arquitectónica», *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña*: 63B79.

San Nicolás, Fray Lorenzo de. 1639. *Arte y Uso de Architectura. Primera parte.* Madrid: s.i. (reimpr. facs. Madrid: Albatros, 1989)

Schwedler, J. W. 1866. «Die Konstruktion der Kuppeldächer». *Zeitschrift für Bauwesen,* 16: 7–34, lám. 10-14.

Sotomayor, Joaquín de. 1776. *Modo de hacer incombustibles los edificios sin aumentar el coste de la construcción. Extractado del que escribió en francés el Conde de Espié.* Madrid: Oficina de Pantaleón Aznar.

Tomlow, Jos. 1989. *Das Modell. Antoni Gaudis Hängemodell und seine Rekonstruktion. Neue Erkenntnisse zum Entwurf für die Kirche der Colonia Güell.* Stuttgart: Institut für leichte Flächentragwerke. Universität Stuttgart.

Torroja, Eduardo. 1956. *Razón y ser de los tipos estructurales.* Madrid: Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento.

Tourtay, C. 1885. «Sur l'influence des joints dans la résistance à l'écrasement des maçonneries de pierres de taille». *Annales des Ponts et Chaussées,* 2: 582–592.

Elementos para una historia de la construcción tabicada

Giovanni Mochi

A la luz de los conocimientos actuales no es posible proponer una historia de la construcción tabicada en forma de una sucesión cronológica de obras, que establezca entre ellas un conjunto de relaciones semejantes a las que es posible hacer, por ejemplo, con la construcción gótica. En cambio, creo útil poner en contexto el estudio de la técnica tabicada —y el de la construcción tabicada— dentro del panorama global de la historia de la arquitectura y de la historia de la construcción, para tratar de comprender a través de qué caminos se han podido diferenciar, adquiriendo aquellos caracteres peculiares, aquellas especificidades que las distinguen. (La cuestión debatida en este artículo viene tratada en: R. Gulli y G. Mochi: *Bóvedas tabicadas: architettura e construzione*, Roma, 1995.)

Aquel que se aproxima por primera vez a la técnica tabicada se queda sorprendido y fascinado por la distancia existente entre el dato sensible (las delgadas, pero resistentes, estructuras abovedadas tabicadas) y la posibilidad de proporcionar una interpretación del funcionamiento estático, utilizando las hipótesis canónicas de la Teoría de Estructuras aplicada a las construcciones abovedadas. Esta experiencia, que derriba la concepción positivista de las teorías sobre la construcción, hace necesaria una reflexión sobre la relación existente entre saber y saber hacer, y sobre la importancia que tal relación ha tenido hasta ahora en la historia de la arquitectura. La moderna separación entre proyecto y realización se contrapone a la unidad conceptual de la construcción antigua donde la habilidad del ejecutor constituye el vehículo entre el momento creador y el resultado arquitectónico. La hipótesis sobre la que se basa esta intervención es que es posible volver a atar los hilos rotos utilizando diferentes instrumentos cognoscitivos.

El primero de los tres apartados que siguen tiene por objeto poner de manifiesto el recorrido del conocimiento constructivo en el campo de las construcciones abovedadas dentro de la tratadística histórica. En la segunda se adoptará una clave interpretativa de carácter analítico para situar correctamente la construcción tabicada dentro del panorama de las construcciones abovedadas de la historia. En la tercera y última parte se analizarán, en particular, aquellos episodios que han tenido una importancia fundamental en la formación y en la transformación de la técnica constructiva tabicada dentro del más vasto ámbito de la historia de la construcción española.

La aparente desarticulación del texto subdividido en tres narraciones deriva, en realidad, de una precisa elección que tiene en cuenta una característica principal del saber constructivo modernamente entendido: la heterogeneidad. El estudio de la construcción se compone de disciplinas no sólo distintas, «sino también desarrolladas sobre los ejes independientes de ese triedro de los saberes —las ciencias exactas, las ciencias empíricas, las ciencias humanas— con el que Michel Foucault representa el renovado cuadro epistemológico».[1] Para no traicionar esta heterogeneidad, esta múltiple naturaleza científica, tecnológica y humanística de la construcción, es preciso indagar el objeto o el evento constructivo atravesando los territorios de la ciencia, de la técnica, de la arquitectura.

La difusión del saber constructivo en el campo de la construcción abovedada

La consigna del silencio

Hasta la aparición de las primeras iglesias borgoñonas en el siglo XI el espacio de la basílica paleocristiana no

Traducción de Roberto Osuna Redondo

se configuraba como un espacio único, envolvente, porque los primeros arquitectos occidentales parecían rechazar el concepto de basílica abovedada, demasiado ligada a la materialidad arquitectónica romana y no adaptada, por su grandiosidad plástica, a una religión de alta espiritualidad.[2] Las arquitecturas de Cluny I o de Espira se pudieron materializar gracias al desarrollo de la habilidad constructiva de las cuadrillas de obreros franceses y alemanes —que consiguieron edificar las grandes bóvedas de piedra con las que cubrir los espacios de las basílicas románicas— después de haber perfeccionado sus técnicas en el transcurso de los siglos precedentes, estimulando así un sistema constructivo que ya habían experimentado los árabes, los romanos y otras culturas precedentes.[3]

La unidad del espacio románico, primero, y del gótico, después, obtenida gracias al uso de las amplias superficies abovedadas, debía representar, en las intenciones de los constructores, el símbolo de la concepción unitaria del universo medieval en el que todo lo creado encontraba su posición justa en una relación directa con Dios. Esta concepción filosófica primero, espacial después, también se reflejaba en la concepción de la estructura del edificio: «hacer que toda la construcción se comporte como una única pieza, *monolítica*, he aquí la meta perseguida por los antiguos constructores [...]».[4]

Como claramente revela Edoardo Benvenuto:

> la solidez de la construcción todavía no se percibía como la perpetuación inmóvil de esa lucha victoriosa sobre la gravedad, en el juego equilibrado de potencia y resistencia implícito a las partes estructurales. Era, sobre todo, atribuida a razones de orden geométrico, a la *sapiente* mutua disposición de las partes. Por este motivo se daba gran importancia a la estereotomía.

Esta será una concepción que perdurará hasta el siglo XVII cuando un matemático, astrónomo y mecánico como La Hire, viera en la estereotomía la ciencia a través de la cual unir lo que está separado *comme une seule pièce.*

¿Pero quiénes eran los custodios de esta reencontrada sabiduría constructiva? Ciertamente debía estar en poder de aquellos que comprendían todo el proceso edificatorio junto a toda una serie de conocimientos unidos a éste. A esta categoría de «constructores» pertenecen los *maitre d'ouvre* franceses y los *maestri lombardi* o *comacini*, creadores de las grandes catedrales europeas, del imponente sistema de castillos galeses de Eduardo I y de toda la gran arquitectura medieval.

El conocimiento del que estos «constructores» eran depositarios se transmitía oralmente a unos pocos afortunados aprendices elegidos a los que se permitía frecuentar los talleres de estos maestros, y ver el lugar de construcción donde adquiría forma aquella *máquina maravillosa* que era el edificio medieval. Se trataba de un saber pseudo esotérico cuyos depositarios observaban rigurosas normas de secreto. Por ejemplo, no les estaba permitido poner por escrito estos conocimientos ni dar informaciones concluyentes a quien no estuviese ya admitido como perteneciente a la categoría. Así acordó la asamblea del arte de la *maçonnerie* reunida en congreso en Ratisbona en 1495.[5]

Numerosos textos medievales y modernos hablan de la existencia de un *arcanum magisterium* dentro del cual se transmitían las reglas de la geometría y del arte del corte de la piedra para las construcciones de las bóvedas, y de todo lo que constituía el bagaje intelectual del constructor medieval. Ciertamente el vínculo del secreto no impedía la observación y por tanto la adquisición de nuevos conocimientos. Una importante prueba se encuentra en el precioso Álbum de Villard de Honnecourt (s. XIII) donde el autor recoge plantas, alzados y detalles decorativos de arquitecturas por él visitadas; todo ello entremezclado con esquemas de máquinas, consejos, perfiles de cornisas y otros.

La inexistencia de fuentes escritas ha hecho que todos aquellos, del Renacimiento en adelante, que se ocuparon por primera vez del estudio de la construcción de los edificios, pudieran proclamarse descubridores de nuevas y perfectas técnicas edificatorias.[6] En el campo de nuestro interés específico no se puede dejar de mencionar cómo entre los siglos XVI y XVII, Delorme en Francia y Guarini en Italia, a pesar de reconocer el elevado nivel de conjunto alcanzado por la arquitectura gótica, reivindicaron la paternidad, el uno, del arte del corte de la piedra y, el otro, de las bóvedas «a fasce»,[7] haciendo caso omiso del saber constructivo medieval en aquel campo específico.

La aparición del saber

La aparición, podríamos decir oficial, de un texto dedicado a la divulgación del saber constructivo se produce en 1567 con la publicación del *Premier tome de l'architectture* di Philibert Delorme. En este texto el autor es consciente de romper con el pasado y se sirve de su conocimiento en el campo de la construcción de las bóvedas de piedra «comme la pierre philosophale qui permet la trasmutation du Moyen Age caduc en Renaissance triomphant».[8]

Al final del primer capítulo del libro III expone una casuística general de la materia con el fin de definir los diversos términos de los que se sirve el estudio de la estereotomía, que inaugurará el recorrido que llevará hasta los autores clásicos de tal disciplina de los siglos XVII y XVIII, aventurándose en el estudio de la solución del problema constructivo a través de un análisis geométrico—constructivo.[9]

Pero Delorme nò poseía una preparación matemática suficiente como para organizar de manera correcta y convincente el estudio y la exposición de los primeros conceptos sobre la estereotomía. En su obra, la carga ideológica —tendente a demostrar la superioridad de las construcciones en piedra francesas sobre las restantes— se impone sobre su contribución científica a la comprensión y divulgación de la estereotomía, a la que dedica los últimos dos libros de su obra.[10]

Con la intención de exaltar e inmortalizar la arquitectura gótica, Delorme no vacila en definir las célebres bóvedas con nervadura características de la arquitectura ojival, bóvedas «à la française» y bóvedas «modernes». Al hacer esto pone las bases de ese particular estilo que, hasta el XVIII se llamará arquitectura a la francesa, cuya peculiaridad se encuentra en la utilización de las bóvedas de piedra y por lo tanto en la estereotomía, y que encuentra en la arquitectura gótica del primer periodo un precedente exclusivo y significativo. (Fig. 1)

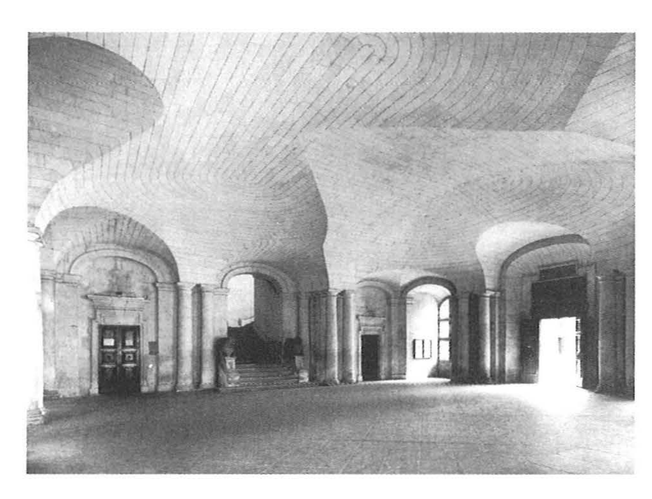


Figura 1
Ayuntamiento de Arlés: una de las obras maestras de la estereotomía moderna (1673)

Detrás de sus manifestaciones se distingue al autor del *Premier tome* dedicado todavía a la reelaboración de precedentes y antiguas practicas constructivas de las que demuestra un buen conocimiento, mientras que su interés por la geometría no se convierte nunca en un conocimiento profundo. El texto refleja esta inseguridad en las exposiciones científicas demostrando, sin embargo, al mismo tiempo cómo el saber constructivo estaba pasando lentamente de manos de los *maitres-maçons* a las de los científicos.

Este paso se consolidará en los años cuarenta del siglo XVII con las obras de Mathurin Jousse,[11] Girard Desargues[12] y del padre François Derand.[13] Las tres obras son diferentes por los contenidos y la difusión, pero todas tienden a establecer la estereotomía como ciencia autónoma tanto de la matemática como de la arquitectura.

El perfeccionamiento de las teorías avanza paralelamente a la pérdida del contacto con la cotidianidad de la obra. La producción intelectual de los autores de los tratados de estereotomía entra en colisión con el pragmatismo de los *maçons*. Se hacen acusaciones de hermetismo a Desargues desde diversos lugares,[14] incluso de los ambientes académicos que prefieren la obra de Derand, considerada de mayor sencillez por la claridad de la exposición.

Esto se explica por el hecho de ser Derand arquitecto además de matemático y, por tanto, más inclinado a traducir los abstractos razonamientos geométricos en normas de fácil comprensión. En este sentido una notable contribución procede del volumen de Jean Baptiste de La Rue,[15] que parte del trabajo del jesuita Derand. El autor, para hacer comprender mejor el desarrollo espacial de cada uno de los sillares, hace insertar en el texto unas hojas con múltiples pliegues que permitían reconstituir el sillar como en un juego de construcción. Además de esto, las figuras que explican las diferentes geometrías estaban representadas en perspectivas con sombras.

El notable éxito obtenido por este proyecto editorial[16] confirma la importancia que adquiere el texto de La Rue al traducir en términos prácticos los resultados teóricos de Derand. Fue realizado por un hombre de oficio, por un arquitecto, que a la manera de los *maitres-maçons*, se dedicaba a superar los límites, en ese momento ya nítidos, que separaban el mundo de la ciencia del de la construcción.

Entre las publicaciones referentes a la estereotomía dignas de mención se puede recordar el monumental trabajo de Amédée-François Frézier, *La Théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois pour la construction des voutes ... ou traité de stéréotomie,* publicado entre 1737 y 1739. Se trata, sin duda, de la obra más ambiciosa jamás realizada sobre la estereotomía pero al mismo tiempo quizás la menos consultada por los contemporáneos y los historiadores.[17] Como en el caso de Desargues, maestro de Frézier, fueron sobre todo los arquitectos los que criticaron la obra por su muy difícil consulta. El autor se vio obligado a redactar una versión simplificada, pero insustancial, con el título de *Elements de stéréotomie à l'usage de l'architecture* editada en 1760. A partir de los años cincuenta del siglo XVIII la producción de textos teóricos sobre la estereotomía entra en una fase de crisis dando paso a la publicación de una serie de resúmenes, como, por ejemplo, los *Eléments* de Frézier, que contienen ejemplos virtuosistas sin ningún interés desde el punto de vista práctico.

Desargues, Derand y Frézier trabajaron en un ambiente intelectual influido por las nuevas ideas del racionalismo. Sus trabajos, como el de otros pensadores de aquel periodo, responden a la búsqueda del fundamento

científico que regula los diversos aspectos de la realidad de la que se tiene experiencia, y no a la transmisión de un saber ya adquirido y la difusión del mismo. En concreto buscaron una ley que les permitiese dirigir el proyecto de las complejas estructuras abovedadas a través de leyes geométricas, pero la crisis de los estudios sobre la estereotomía, que tuvo lugar en torno a 1750, demuestra la dificultad de conseguir una síntesis general de la teoría que abrazase todas las posibilidades prácticas y no se limitase al estudio y al análisis de alguna situación ejemplar pero particular.

La mayor dificultad residía en la imposibilidad de describir las complejas superficies espaciales, obtenidas aplicando la teoría de la estereotomía, a través de simples razonamientos geométricos como en cambio requería la economía de la obra constructiva.

El problema no tiene solución definitiva hasta 1800, año de publicación de la *Geométrie descriptive* de Gaspard Monge que abre nuevos horizontes a la geometría y permite el reflorecimiento, en el siglo XIX, de la estereotomía. Esta obra cerraba el discurso sobre la traducción geométrica de los complicados esquemas de la estereotomía garantizando una representación espacial exacta; pero mientras tanto se habían modificado profundamente las relaciones entre cultura científica y saber constructivo y con ellos la concepción misma de la arquitectura.[18]



Figura 2
Fray Lorenzo de San Nicolás. Portada de *Arte y uso de la Arquitectura,* en la edición de 1796

«De tres materias se hacen bóvedas»

En 1633, en Valencia, se imprime la primera parte de la obra del religioso agustino Fray Lorenzo de San Nicolás *Arte y uso de la Arquitectura* (Fig. 2). La importancia de este libro en nuestro contexto de investigación reside principalmente en la extraordinaria riqueza de contenidos constructivos de los que no hay parangón en ninguna obra contemporánea.[19]

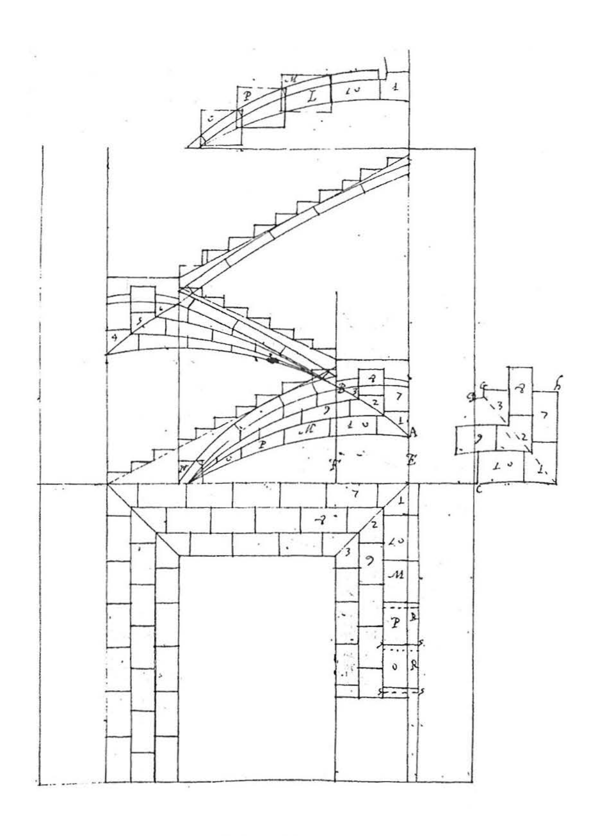
El autor se muestra distante de las cuestiones teóricas de la arquitectura de las que parece, incluso, desentenderse. Para Fray Lorenzo la Arquitectura es una actividad, un arte que se honra de practicar, y es para favorecer su ejercicio por lo que redacta su obra.[20]

Distantes del intelectualismo, en el que recaen los grandes teóricos de la estereotomía franceses de los siglos XVII y XVIII, aparecen tanto los contenidos como la escritura, simples y esenciales, destinados a dirigir el ejercicio cotidiano de la profesión y en general a discutir y analizar: «[...] todo lo que en los edificios te puede suceder».[21] Y, en efecto, tanto las consideraciones expuestas como los ejemplos referidos son fruto de su experiencia de cincuenta años de arquitecto y de un estudio, más o menos filológico, sobre los tratados renacentistas o sobre la obra vitruviana en torno a la que gira, por ejemplo, la producción italiana del siglo XVI: «[...] todo lo qual experimenté por mis manos antes de escribirlo, siendo este mi exercicio, como en otras ocasiones he dicho».[22]

Ya habíamos visto cómo en Francia la evolución de los estudios sobre estereotomía, culminada con la aparición de las obras de Desargues, Derand y Freziér, no había aportado sustanciales mejoras a la difusión de la cultura constructiva que, en aquel sector concreto, tenía su origen en la gran tradición de la arquitectura gótica.

Durante todo el siglo XVIII, la construcción de las admirables bóvedas de piedra se confió a los maestros constructores formados en el trabajo cotidiano de la obra, mientras a los celebres estudiosos antes citados sólo se les podían adscribir muy pocas realizaciones.

Pocos años después de la publicación del *Primier tome* de Delorme, o sea, entre 1575 y 1591, Alonso de Vandelvira escribió *Libro de Traças de Cortes de Piedras compuesto por Alonso Van de Elvira, arquitecto Maestro de Cantería componese de todo genero de cortes, diferencias de capillas, escaleras, caracoles, templos y otras dificultades muy curiosas* dedicado, como



[*Fol. 59 r.*]

Figura 3
Alonso de Vandelvira. Escalera en piedra en el *Libro de Traças de Cortes de Piedras*

el libro de Delorme, a la estereotomía (Fig. 3). Éste no se publicó, el original se perdió, pero se conservan afortunadamente todavía algunas copias del manuscrito original que han permitido la publicación en facsímil del texto en 1977.[23]

A diferencia de Delorme, Vandelvira poseía una cultura matemático-geométrica más refinada, quizás gracias a la influencia de la gran erudición árabe; también el texto aparece diferente respecto al *Premier tome*, tanto en la organización como en los contenidos, expuestos de forma clara y eficaz para facilitar la comprensión por parte del lector.

El carácter eminentemente técnico del libro no deja duda sobre la intención del autor: difundir el arte de la construcción en piedra tallada entre los «maestros de obras». Por otra parte, ya en el título aparece claro el intento divulgativo, subrayado con la enumeración de los diversos tipos de estructura que el lector encontrará, en el interior del texto, detalladamente explicados mediante adecuadas representaciones gráficas.

Parece demostrado que esta obra es la primera escrita en España sobre la estereotomía y, en general, sobre las cuestiones constructivas de la arquitectura ya que Vandelvira se sirvió, en la redacción del texto, de una terminología procedente de los términos equivalentes franceses utilizados en el libro de Delorme del que, evidentemente, Vandelvira tenía conocimiento. La adopción de estos términos no puede ser atribuida a un predominio de los modelos franceses, cosa que sucederá frecuentemente a partir del siglo XVII, sino al hecho de que los tratados de arquitectura publicados en España hasta entonces eran sustancialmente una traducción de los tratados italianos que, a su vez, no tomaban en consideración los aspectos técnicos y constructivos de las estructuras de piedra tallada.[24]

Como ya comienza a perfilarse, los tres principales ámbitos culturales de los que nos ocupamos, el español, el francés y el italiano, emprendieron caminos distintos entre los siglos XVI y XVII, favoreciendo cada uno de ellos diferentes lecturas de la obra arquitectónica. La producción tratadística italiana estaba principalmente dirigida hacia las cuestiones teóricas y estilísticas mientras que la francesa, sobre todo a partir del siglo XVII, comenzó a interesarse por los aspectos más específicamente racionales del proyecto arquitectónico.

Con Alonso de Vandelvira se inicia un breve, pero significativo, periodo en el que la cultura arquitectónica se ocupó sobre todo de la divulgación del gran saber constructivo del que eran depositarios los maestros constructores españoles.[25] A la obra de Vandelvira siguieron en el siglo XVII: el *Compendio de la carpintería de lo blanco* de López de Arenas, sobre el arte de la carpintería de madera de tradición mudéjar, el ya citado *Breve tratado de todo genero de bobeda* de Juan de Torija, dedicado, como el libro de Vandelvira, al corte de piedra y, finalmente, la obra de Fray Lorenzo de San Nicolás *Arte y Uso de Arquitectura.*

Más que apuntar de manera general los contenidos de la obra de Fray Lorenzo de San Nicolás[26] parece importante subrayar cómo se encuentra en ella la descripción de todos los aspectos constructivos del arte edificatorio español de aquel periodo: *Arte y uso* puede ser visto como «una especie de enciclopedia de todos los conocimientos disponibles en su tiempo sobre la arquitectura».[27]

El relato de la edificación de una iglesia constituye, intencionadamente, un pretexto, la ocasión para exponer todas las diferentes fases de construcción de las que el autor propone variantes y sugerencias ejecutivas, como recuerdo de la promesa hecha al lector en la introducción de explicar todo lo «que en los edificios te puede suceder».

Se dedican muchas páginas a las bóvedas.[28] Consultando el índice de la obra se comprueba cómo ningún otro fragmento del texto tiene la misma extensión. Esto es explicable en virtud de la gran importancia que tenían las estructuras abovedadas en la arquitectura religiosa

española donde la persistencia del gótico jugó un papel fundamental en la optimización de las técnicas constructivas.[29]

Aunque no de un modo exhaustivo, se trata por primera vez el tema en la literatura sobre arquitectura, sin limitar el estudio exclusivamente a las bóvedas de piedra sino prolongando el campo de investigación también a las bóvedas de ladrillo. El capítulo XLVII está dedicado al encuadre general del estudio sobre las bóvedas: después de haber distinguido los cinco tipos principales de bóvedas[30] y de haber aconsejado rigidizarlas con la construcción de lunetos, Fray Lorenzo indica los tres materiales con los que se pueden construir los cinco tipos fundamentales.

> De tres materias se hacen bóvedas, que es yeso tabicado, de rosca de ladrillo, y de cantería. De las dos no harémos demostración, y si de la tercera. Si deseas aprovechar y experimentar este mi escrito, haz cortes de yeso, y por ellos conoceras ser cierto, y concordar lo pratico con lo especulativo; todo lo qual experimenté por mis manos antes de escribirlo, siendo este mi exercicio, como en otras ocasiones he dicho.[31]

En los capítulos siguientes al XLVII se exponen las modalidades constructivas de los cinco tipos establecidos de bóveda; para cada una de ellas el autor describe aparejos constructivos, cimbras, modos de ejecución y ofrece consejos. Pero, además de esto, el autor demuestra cómo los tres materiales[32] pueden ser utilizados indistintamente para construir casi cualquier tipo de bóveda.

La generalización a la que llega Fray Lorenzo podría considerarse indiscutible en lo concerniente al aspecto constructivo y, en efecto, los textos posteriores, franceses y españoles sobre todo, no agregarán nada más en el campo de las modalidades de ejecución de las bóvedas.

Sería deseable un estudio más exhaustivo que recogiese y resaltase aquellos aspectos originales y modernos que caracterizan la obra de Fray Lorenzo de San Nicolás, y la situase adecuadamente en el contexto del mundo cultural del siglo XVII. Lejos de ser un personaje de segunda fila, el religioso español aparece dentro del nuevo espíritu especulativo del racionalismo contemporáneo y no duda en aconsejar al lector interesado que verifique experimentalmente sus afirmaciones —como también él confiesa haber hecho— quizás mediante la construcción de modelos de yeso con las que «concordar lo práctico con lo especulativo».

No parece correcto explicar solamente sus posiciones como derivadas de la influencia de la cultura francesa, donde ya las nuevas doctrinas filosóficas habían producido fértiles resultados, es decir, como el legado de un modo de entender la arquitectura que el Renacimiento italiano había puesto en crisis. Aunque al reconocer la importancia de la matemática y de la geometría, cuyo estudio antepone a la parte más propiamente arquitectónica del texto, Fray Lorenzo recobra el valor de la experiencia, de la técnica que Daniele Barbaro[33] consideraba un saber «sine scientia» y por tanto privado de todo fundamento de verdad.

En concreto, la exposición de las modalidades constructivas de los diversos tipos de bóveda, a los que se añaden interesantes variantes, como las bóvedas anulares, se hace a partir de la técnica que considera como la más fácil de seguir y de la que hace gran uso en la práctica profesional: la técnica tabicada. De ésta, como de las otras dos técnicas, no se proporcionan las nociones elementales de construcción, juzgadas de patrimonio común a todos los maestros constructores, aunque el autor refiere aquellas consideraciones y aquellas sugerencias adecuadas para resolver problemas concretos generados por las particulares geometrías de las bóvedas.

La segunda parte de *Arte y Uso de Arquitectura* se publica en Madrid en 1663 y está dedicada en su totalidad al arte del «corte de piedras» o arte «de cantería», término que identifica al arte de la estereotomía.

La construcción en piedra estaba considerada como la más conveniente para su empleo en edificios prestigiosos y representativos y de la que los arquitectos creían poder ofrecer demostraciones geométricas que asegurasen la estabilidad. Esta supuesta supremacía de la construcción en piedra sobre la construcción en ladrillo se halla en el origen del gran interés que también muestran hacia ella los arquitectos de la corte madrileña: Juan de Torija y Fray Lorenzo de San Nicolás.

En 1661 Juan de Torija entrega a la imprenta su *Breve tratado de todo genero de bobedas* con la intención de adelantarse a la publicación de la segunda parte de la obra de Fray Lorenzo y, por lo tanto, ser el primero en presentarse como un refinado conocedor de esta prestigiosa técnica ante los ojos de los reyes de España. Dos años después, desde las páginas de su libro Fray Lorenzo acusará a Juan de Torija de haberse apropiado indebidamente del manuscrito inédito de Alonso de Vandelvira y de haberlo publicado atribuyéndose su paternidad.[34]

Como fondo de la disputa entre los dos arquitectos se entrevé la triste situación de la arquitectura española a finales del siglo XVII; una época de crisis en la cual, como dice Fray Lorenzo: «[...] oy está España, y las demás Provincias, no para emprender edificios grandes, sino para conservar los que tiene hechos».[35]

En aquel periodo de inseguridad, en el que las dificultades económicas frenaban la construcción de nuevos edificios, cuando todo arquitecto veía en el otro a un rival capaz de arrastrarlo a la miseria, no había espacio para la aparición de textos de arquitectura. Hasta el siglo XIX no se publicará en España ninguna obra original,

aunque sí traducciones, más o menos confesadas, de obras francesas.

La demostración más clara de la idiosincrasia[36] de la producción editorial española se obtiene recorriendo el texto de Diego de Villanueva, *Collecion de diferentes papeles criticos sobre todas le partes de la Arquitectura...*, editado en Valencia en 1766. En este texto el autor —entusiasmado por la lectura de las tesis del abad Laugier a favor de la adopción en la construcción civil de las bóvedas tabicadas introducidas con honores en la crónica del libro del Conde d'Espie y en los escritos de Pierre Patte[37]— propone que la obra de d'Espie se traduzca al castellano. Esto sucede en 1783 cuando Benito Bails publicó en Madrid su *Elementos de Matemáticas. Tomo IX que trata de la Arquitectura Civil* en el que los contenidos constructivos constituyen la simple traducción del *Cours d'Architecture* de Blondel redactado por Patte.

«Las bóvedas tabicadas vuelven a difundirse una vez más por el medio español, a través de una interpretación francesa».[38]

De Blondel a Rondelet a través de Pierre Patte: la Francia del siglo XVIII

La manifestación de las ideas racionalistas tuvo como efecto la búsqueda de nuevas verdades sobre las que fundar y verificar la arquitectura. En esa dirección se movieron los estudiosos de la estereotomía que habíamos visto investigar una solución puramente científica —matemática— a un problema de orden arquitectónico más complejo que el de la construcción de las bóvedas en piedra. El fracaso parcial de tales experiencias debió convencer a los primeros exponentes de la Ilustración de abandonar posiciones en las que la investigación de soluciones científicas asumía tonos prioritarios.

Por otra parte era innegable que el dato derivado de la experiencia y de la práctica constituía otra forma de objetividad y sobre él se podían fundar unas certezas que se volverían útiles en experiencias sucesivas, aunque tales certezas no se podían explicar, de momento, sobre bases científicas. Sin embargo, al conservar márgenes de autonomía, el saber científico y el saber práctico podían ser transmitidos y organizados juntos en una misma didáctica.

Este paso fundamental fue completado entre 1751 y 1772 con la *Encyclopédie* de Diderot y D'Alambert donde coexisten «además de principios científicos, la solidez y la insustituible presencia de los oficios y de la practica artesana».[39]

El encargado de la voz *Architecture* en la *Encyclopédie* fue J.F. Blondel. Continuador de las tesis de Perrault, se comprometió profundamente con la educación y sus ideas fueron la base de la enseñanza de la arquitectura en Francia durante un largo periodo.

La obra que recoge toda su concepción sobre la arquitectura son los famosos *Cours d'Architecture* donde, por vez primera, toda la materia se recoge de un modo inteligible, utilizando, además del texto, un adecuado cuerpo de ilustraciones. Incompleta a su muerte, la obra fue terminada y publicada, a partir de 1777, por Pierre Patte. Su intervención concierne a los volúmenes quinto y sexto dedicados a la *construction*; un registro detallado del estado alcanzado por la cultura constructiva francesa, que, recordamos, dominaba la escena europea del siglo XVII.

El sexto volumen del *Cours* está dedicado, en gran parte, a la exposición de los problemas de las estructuras abovedadas. El primer capítulo está dedicado a las bóvedas por gravedad donde se exponen las consideraciones sobre la mecánica, sobre la determinación de su empuje y de su construcción. Basta recorrer los títulos de los artículos concernientes para darse cuenta que los temas se tratan de una manera absolutamente nueva, concediendo amplio espacio a las cuestiones del predimensionamiento y de la optimización estructural subrayadas con ejemplos relevantes.

MANIERE
DE RENDRE
TOUTES SORTES D'ÉDIFICES
INCOMBUSTIBLES;
OU
TRAITE' sur la Construction des Voutes, faites avec des briques & du plâtre, dites Voutes plates; & d'un Toit de brique, sans Charpente, appellé Comble Briqueté.
De l'invention de M. le Comte D'ESPIE, Chevalier de l'Ordre Royal & Militaire de Saint Louis.
Avec les Plans gravés en taille-douce.



A PARIS,
Chez DUCHESNE, Libraire, Rue St. Jacques, au-dessous de la Fontaine Saint Benoit, au Temple du Goût.
M. DCC. LIV.
Avec Approbation & Privilége du Roi.

Figura 4
Conde d'Espie. Portada de su célebre opúsculo *Maniere de rendre toutes sortes d'edificies incombustibles* de 1754

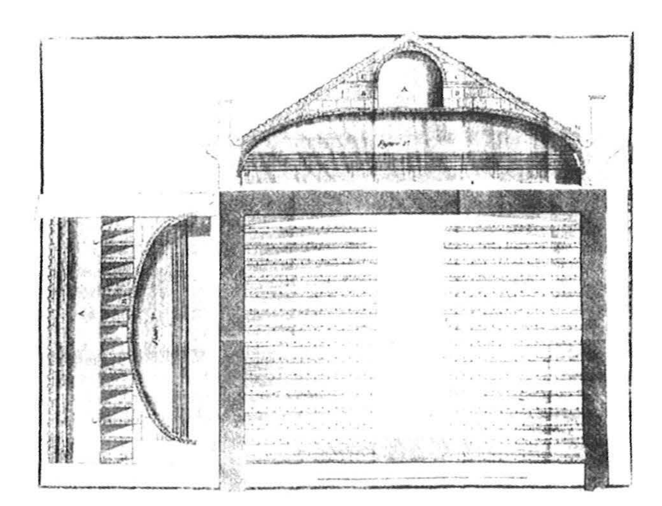


Figura 5
Conde d'Espie. Cubierta de su casa en Toulouse realizada completamente en ladrillo

En la época de publicación de este volumen (1777) ya se había publicado, en 1754, un opúsculo titulado *Maniere de rendre toutes sortes d'edificies incombustibles* escrito por el Conde d'Espie (Fig. 4), en el que el autor exponía los resultados de su experiencia constructiva —ocurrida aproximadamente tres años antes— en la que había utilizado las bóvedas construidas con ladrillos delgados colocados de plano, típicas en la región del Rosellón. El Conde d'Espie consideraba que había hecho un uso innovador de tal construcción al emplearla también como estructura de cubierta de una casa suya en Toulouse (Fig. 5), sin recurrir en ningún momento a la utilización de madera o hierro y garantizando, por tanto, una mayor resistencia ante los incendios.

Prescindiendo de la narración detallada del episodio que implica al Conde d'Espie junto con otro ilustre personaje, el duque de Bellisle, mencionado también más veces en los textos catalanes de los siglos XIX y XX,[40] es interesante subrayar algunas características destacadas del texto de d'Espie.

Se trata de un informe técnico extremadamente detallado y puntual del proceso constructivo, enriquecido con consideraciones de carácter estático-mecánico, absolutamente pertinentes al problema físico en cuestión, y por los resultados experimentales que ejemplifican claramente el comportamiento de las estructuras solicitadas en condiciones extremas.

Parece posible afirmar que, finalmente, el *Arcanum magisterium* se desvelaba y quedaba a la disposición de todos.

En muchas valiosas observaciones —como aquellas en las que se subraya el diferente comportamiento de las bóvedas planas, comparadas con las habituales de ladrillo, en razón de la considerable resistencia ofrecida por la notable cantidad de mortero introducidas entre los estratos de ladrillo— el texto de d'Espie anticipa algunos resultados importantes alcanzados por los posteriores estudios realizados sobre el tema, el primero de todos el de Rafael Guastavino sobre las estructuras cohesivas que se remonta a finales del siglo XIX. En los abundantes consejos para la ejecución recorre los textos catalanes sobre las construcción de bóvedas tabicadas de las que las estructuras de d'Espie son trasposición, si se acepta el término, literal.[41]

El opúsculo de d'Espie habría pasado probablemente inadvertido si el abad Marc-Antoine Laugier en su *Essai sur l'architecture*, editado en 1755 en segunda edición, no hubiese publicado el trabajo de d'Espie considerando la técnica mencionada como la idónea para resolver el problema estético de la eliminación de los tirantes y contrafuertes en la construcción de las iglesias.

También Patte quedó profundamente impresionado por el ejemplo ilustrado por d'Espie que permitía reducir los espesores de los muros debido a la exigüidad de las cargas transmitidas por aquellas delgadas bóvedas, que al mismo tiempo presentaban una notable resistencia al fuego. La posibilidad, vislumbrada por Pierre Patte, de una optimización de la construcción que concerniese tanto los aspectos estructurales como los de seguridad ante los incendios —particularmente frecuentes en las construcciones con estructura de madera— polarizó los intereses de los estudiosos franceses.

Llegará a postular la necesidad de edificios construidos enteramente en piedra y ladrillo sustituyendo todos los forjados de madera con bóvedas de ladrillo como las mencionadas por d'Espie.

En sus *Memories sur les objets les plus importants de l'architecture*[42] compara dos secciones tipo de edificios residenciales, una tradicional y otra en la que examina las modificaciones estructurales que defiende (Fig. 6). Tampoco se juzga idónea la cubierta a la francesa con amplias pendientes, uno de los elementos emblemáticos de la arquitectura nacional, y se sustituye por una terraza embaldosada al modo mediterráneo, soportada por una bóveda de ladrillo.

Las ideas del abad Laugier sobre la sinceridad expresiva en arquitectura son recogidas totalmente en la obra de Patte. La preferencia mostrada por la cubierta plana puede ser leída como una adhesión a la crítica de Laugier sobre los excesos de la carpintería en la construcción francesa; una sutil subversión de las reglas en uso que no parecen dictadas por ninguna racionalidad constructiva. Mientras la cubierta de la casa de d'Espie —enteramente construida en ladrillo pero de forma inclinada— parece anclada en los valores expresivos de la arquitectura tradicional al evocar una estructura de madera, Patte rechazará cualquier referencia a ésta, proponiendo un edificio ideal, cubierto por una terraza embal-

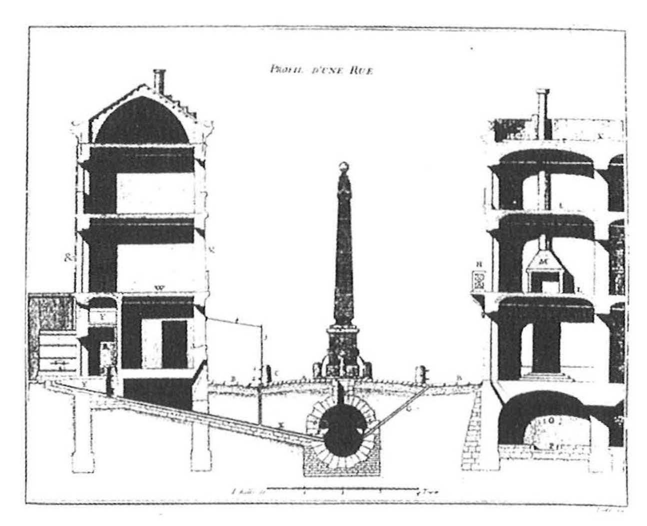


Figura 6
Pierre Patte. Ilustración de las *Memories sur les objets les plus importants de l'architecture*. Comparación entre un edificio tradicional (izquierda) y uno realizado completamente en ladrillo (derecha)

dosada, totalmente construido sin madera. Éste parece una copia de un edificio barcelonés construido en la misma época y un homenaje ofrecido a una cultura arquitectónica más adherida a los principios racionales de un moderno arte de construir.[43]

Jean Baptiste Rondelet publica entre 1802 y 1803 su *Traité théorique et pratique de l'art de batir*. Ciertamente se trata de una obra fundamental de la tratadística francesa donde se reflejan las tesis de la *Encyclopèdie* de reunir ciencia y técnica, razón y trabajo con un lenguaje claro y recurriendo masivamente al dibujo explicativo de modo que no existiese, para los lectores, el peligro de caer en interpretaciones oscuras y vagas.

Esta técnica de organización del texto, que enlaza de forma complementaria imagen y palabra, se convertirá en uno de los medios preferidos de la tratadística para fijar y transmitir la información. Esta necesidad de claridad llega en un momento, el comienzo del siglo XIX, en el que «la tensión experimental y las aspiraciones progresistas del siglo XVIII tienden [...] a establecer unos puntos fijos y dar nuevas referencias al proyecto».[44]

En la obra de Rondelet la arquitectura se reduce a uno solo de sus componentes, el constructivo. Pero la construcción se ve como actividad compleja en la que confluyen conocimientos científicos y experiencia práctica. El manual es la suma de tales nociones, momento propedéutico e indispensable para la figura profesional que posee el control de todo el proceso proyectual.

La discusión sobre las bóvedas de piedra y la estereotomía se puede ahora enriquecer con la experiencia de Monge, que en 1800 publicó su trabajo sobre geometría descriptiva —ya citado en la parte referente a los tratadistas franceses del siglo XVII—, pareciendo ahora posible una exposición comprensible y matemáticamente correcta de las complejas cuestiones inherentes a la definición geométrica de los sillares.

Rondelet publica los resultados de una vasta gama de experimentos propios para mostrar el comportamiento de elementos constructivos, de muestras de morteros, o de estructuras enteras. Estos se recogen —junto con otros procedentes de pruebas llevados a cabo en otros estudios— en valiosos cuadros útiles al proyectista para resolver los problemas relativos a la verificación o el dimensionamiento.

Entre tales experimentos están los expuestos por Patte relativos a la utilización de las bóvedas planas. Sin embargo, en este caso el texto de Rondelet no proporciona ninguna novedad de relieve, demostrando así la existencia de una situación de estancamiento en el empleo de tales sistemas constructivos después de la repentina difusión ocurrida en Francia hacia la mitad del siglo XVII.

La modesta posición que la técnica de las bóvedas planas ocupa en la obra de Rondelet es atribuible al escaso crédito que se les concedía en los ambientes científicos de la época como manifiesta el episodio de la construcción del edificio del Ministerio de la Guerra. Los resultados de las diferentes pruebas fueron positivos, por lo que también Rondelet los publicó. No obstante, el comportamiento de tales estructuras era diferente del de las estructuras de gravedad para las que, sin embargo, se habían realizado ya estudios científicos de notable importancia. La falta de instrumentos idóneos de análisis científico, que permitieran confirmar su validez, provocó el desinterés de la cultura oficial y destinó a la técnica tabicada a sobrevivir en la tradición constructiva de los diferentes contextos locales.

Entre dependencia y continuidad cultural: la técnica tabicada en la producción editorial española del siglo XIX

La supremacía francesa, iniciada en el siglo XVII y prolongada hasta el siglo XIX, no permite un desarrollo de otras culturas arquitectónicas nacionales de forma coherente con las premisas que se dibujaban durante los siglos precedentes. Es el origen del escaso interés demostrado por los estudiosos en el examen de las producciones editoriales arquitectónicas italianas o españolas, que sólo en el siglo XIX intentaron diferenciarse de las realizaciones francesas contemporáneas.

La fortuna de los tratados franceses del siglo XVIII en España se consagra definitivamente con la publicación de la obra de Benito Bails[45] que constituye una traducción del texto de Blondel y de Patte. En 1809 Josep Renart escribió, en forma de pequeño tratado de arquitectura, una serie de siete cartas a su hijo combatiente

contra las tropas francesas. De este modo el *maestro de obras* barcelonés trataba de instruir a su hijo a pesar de los acontecimientos históricos del momento de su formación.[46] La cuarta carta del autor catalán trata de la construcción de edificios —un tema que sin duda debía conocer bien dada su experiencia de muchos años en el sector de la construcción— aunque su obra se limita a volver a proponer los contenidos de Blondel y de Patte subrayando así, otra vez más, la dependencia de la cultura española. Incluso cuando trata de las bóvedas tabicadas no hace más que referir el ejemplo del Conde d'Espie y de su casa en Toulouse no mencionando ninguna experiencia suya o de ningún otro constructor catalán del periodo. También la organización del texto recalca los modelos franceses, distanciándose de la escritura esencial de Fray Lorenzo, llena de experiencias personales y sugerencias.

En 1841 se publica en Valencia un importante texto dedicado expresamente a la práctica constructiva: se trata del texto del arquitecto Manuel Fornés y Gurrea *Observaciones sobre la práctica del arte de edificar*. Si bien este texto sólo trata específicamente de la construcción, constituye el momento de ruptura con la influencia editorial francesa mientras que, simultáneamente, se reanuda la consolidada tradición constructiva española que tiene en el tratado de Fray Lorenzo una de sus mejores codificaciones. En su interior no se encuentra ninguna traza de los trabajos de Blondel, Patte o Rondelet; ni en los contenidos ni en la forma. Respecto a éstos el texto de Fornés y Gurrea no es tan extenso ni completo. Tampoco se recoge el repertorio de ilustraciones, sino que se dibuja independientemente en razón de la necesidad de explicación del texto, inspirándose quizás en los tratadistas españoles de los siglos XVI y XVII.

Se dedica mucho espacio a las noticias sobre construcciones de las bóvedas en ladrillo y sobre todo a las bóvedas tabicadas mientras que la construcción estereotómica en piedra no aparece. Recordando a Fray Lorenzo y leyendo el texto de Fornés se podría concluir que no se pueden construir las bóvedas más que de tres maneras, pero de dos sólo tipos: bóvedas de rosca y bóvedas tabicadas. La comparación con el texto de Fray Lorenzo *Arte y uso de Arquitectura* no es casual en cuanto se pueden establecer paralelismos entre las dos obras. En efecto, en ambas la exposición de las diversas geometrías de las bóvedas no se separa de la discusión sobre sus modalidades constructivas, del mismo modo que los dos autores insisten repetidamente en la facilidad constructiva relacionada con el procedimiento tabicado, que garantiza velocidad de ejecución sin renunciar a las características de resistencia mecánica. Igualmente los dos estudiosos apoyan su conocimiento en su propia experiencia profesional que constituye una especie de verificación práctica de las indicaciones dadas al lector a lo largo del texto: la falta de experiencia personal en algunos campos hace que Renart manifieste totalmente tal laguna prefiriendo no dar ninguna indicación al respecto.[47] Esto haría suponer que el autor —no obstante ser un arquitecto, director de la Academia de Bellas Artes de San Carlos en Valencia— está ligado todavía a una cultura que favorece los aspectos prácticos del proceso arquitectónico, mostrando un total desinterés hacia las teorías de la ilustración francesa que habían tenido fortuna en España. Aunque este rechazo de toda teorización sobre la arquitectura podría parecer coherente con las posiciones que —sobre todo en la segunda mitad del siglo XIX— también llevan a los manuales franceses a interesarse fundamentalmente por los aspectos prácticos de la construcción,[48] hay una profunda diferencia entre las situaciones históricas y económicas en las que actúan los protagonistas de España y Francia, y sobre todo en el resultado final.

El manual francés quiere proporcionar todos los instrumentos necesarios a las diversas figuras comprometidas en la construcción —proyectistas, empresarios, capataces— a fin de que cada uno pueda trabajar correcta y autónomamente en su propio campo.[49] Por el contrario, el texto de Fornés y Gurrea se puede considerar un minucioso balance de la cultura constructiva española del siglo XIX y uno de los más valiosos textos para comprender la técnica tabicada. Este aspecto acercaba el tratado a la obra tardo-gótica de Fray Lorenzo y, como en el *Arte y uso de Arquitectura*, el texto de Fornés y Gurrea subraya la particularidad de la producción literaria española tan atenta a la definición de las cuestiones inherentes a las prácticas constructivas. Una tradición que se puede encontrar, como herencia cultural, también en el interior de los sucesivos desarrollos de la producción arquitectónica española y catalana, en particular, de la última parte del siglo XIX.

El «saber construir» de Fornés y Gurrea, de Fray Lorenzo y de Guillermo Abiell, como se verá en el tercer apartado, coincide con el «hacer arquitectura», según una relación biunívoca cuya ligazón es el vasto patrimonio de técnicas, entre ellas la tabicada, que amplían la capacidad de los constructores. A través de la flexibilidad de un sistema constructivo como el tabicado, Fornés y Gurrea demuestra prácticamente las posibilidades de realizar de un modo económico escaleras de cualquier tipo, bóvedas sobre cualquier planta —de la trapezoidal a la triangular— dando cada vez las reglas esenciales, aunque necesarias, para ejecutar correctamente la construcción. También usará el célebre dibujo del Conde d'Espie y de su casa en Toulouse, pero para demostrar cómo las bóvedas de cañón se pueden reforzar mediante la inserción de rigidizadores y de nervaduras colocadas en el trasdós.[50] El dibujo, probablemente retomado del libro de Benito Bails y bastante diferente del original

del Conde d'Espie, está adaptado por el autor a sus necesidades, aparentemente sin ningún propósito ideológico. Sin embargo, no hay duda que con su obra el autor establece la justa distancia en las dos culturas arquitectónicas, la francesa y la española, en un campo —como es el constructivo— dentro del que se jugará la partida de la renovación tecnológica y que constituirá una de las premisas fundamentales para el nacimiento de la arquitectura moderna.

Sobre la misma estela podemos poner la obra de José Albarrán dedicada a las bóvedas que se construyen sin el auxilio de cimbras.[51] El interés de Albarrán —un oficial del cuerpo de ingenieros ligado a la escuela de ingeniería de la capital española— se vierte principalmente sobre las bóvedas que se construyen en Extremadura. La exposición sobre la construcción de estas bóvedas está precedida de una concisa e interesante parte sobre las bóvedas tabicadas con la finalidad declarada de «completar el tema elegido». Centrando la exposición sobre las modalidades realizables de una bóveda de cañón y de una de arista propone con extrema claridad todo el proceso constructivo, analizándolo detalladamente en cada fase. En la segunda parte de la memoria el autor pasa a analizar las fases constructivas de las bóvedas particulares que se construían en Extremadura en el siglo XIX sin necesidad de cimbras. Este segundo tipo de construcciones, que no requieren el empleo de andamiaje, constituye una herencia directa de las realizaciones islámicas en territorio español[52] y preveía una construcción dividida en dos fases: en la primera se procede a la realización de una bóveda normal con elementos radiales desde la imposta horizontal hasta un plano inclinado respecto a la horizontal de un ángulo igual al ángulo de rozamiento interno del conjunto ladrillo-mortero. Las dos partes de bóveda obtenidas se convierten en la imposta de la parte constructiva restante que se ejecutará según la técnica de los arcos inclinados hacia atrás, según la manera que procedía de los árabes, pero también de los bizantinos y, antes que nadie, de las poblaciones nubias.

De nuevo nos encontramos frente a un texto centrado exclusivamente en las cuestiones constructivas, los restantes problemas que conciernen al problema edificatorio parecen no revestir particular interés para los autores españoles del siglo XIX. Es conocido que este hecho probablemente deriva de las diferentes condiciones económicas de España en relación con Francia, donde ya la economía de mercado había entrado años antes modificando la relación entre clientes, proyectistas y constructores. En esta mayor resistencia de la cultura española hacia los cambios procedentes de la revolución francesa es de destacar la permanencia de caracteres que habíamos visto presentes desde la época de Fray Lorenzo, que parecían adormecidos durante el siglo XVIII o sepultados por la irrupción de la cultura ilustrada y que habíamos visto materializarse en la constante atención al momento constructivo de la arquitectura.

Esto no debe inducir a pensar que la producción editorial española del siglo XIX actúe de manera autónoma. La influencia de Rondelet, por ejemplo, está muy presente en la obra de Pedro Campo-Redondo editada en 1854 como apoyo para su actividad didáctica en la Escuela Especial de Arquitectura de Madrid, abierta sólo durante los años de 1852 a 1855.[53]

Mientras Campo-Redondo en su trabajo no se ocupa de las bóvedas tabicadas, éstas caracterizan la obra de Domingo Sugrañés[54] en el sentido que constituyen el elemento de mayor interés de su texto. En realidad se trata de un trabajo publicado en el siglo XX, pero que permite volver a relacionar la producción editorial del siglo XIX con la del siguiente. La composición tripartita del texto, con secciones dedicadas a la construcción, a la formulación y redacción de un proyecto correcto y por último a la cuestión de la estética del proporcionado de las fachadas, trae a la mente la concepción de los primeros tratados de arquitectura. Centrando la atención sobre la parte dedicada al proceso de realización de un edificio —estructurada como en los tratados más antiguos según el desarrollo progresivo de las labores de la obra— se debe constatar cómo en ella está ausente cualquier profundización de los contenidos constructivos, que se tratan de manera absolutamente convencional. Además de la presencia de Rondelet se advierte la influencia, en las láminas elaboradas, de los *tratados visuales* italianos;[55] en éstos la investigación gráfica y los ricos colores acompañan eficazmente el estudio de las tablas. No está elaborada del mismo modo la tabla dedicada a las bóvedas tabicadas en las que el dibujo es mucho más pobre e incapaz de transmitir las mismas informaciones minuciosas de las otras láminas. Para su redacción es probable que el autor, no teniendo a su disposición referencias válidas, se valiera de dibujos propios, originales o extraídos de alguna modesta publicación contemporánea.[56]

Pero lo que es más importante de destacar, más allá de las influencias del autor, es la nueva formulación del problema de las bóvedas tabicadas, tal y como aparece en esta obra en la lámina 83. Por vez primera Sugrañés saca a la luz la relación entre la técnica tabicada y su supuesto origen histórico, recogiendo las indicaciones de Choisy sobre la construcción romana de las bóvedas de hormigón con encofrado de ladrillo.[57] En el texto las indicaciones constructivas están reducidas al mínimo, refiriéndose sólo a la construcción de una bóveda de cañón, mientras que se da más importancia a la utilización de las bóvedas tabicadas en las realizaciones industriales.

La importancia de la obra de Sugrañés reside más en su ubicación histórica que en el interés de sus conteni-

dos; y abre la vía a las publicaciones sobre la técnica tabicada del siglo XX en las que, por ejemplo, el problema del origen histórico de la técnica se plantea de la misma manera, y se yergue como el primer manifiesto de la utilización de las bóvedas tabicadas en la nueva arquitectura catalana. En efecto, recordemos que en esa época ya existían las maravillosas construcciones de Gaudí, de Domenech Montaner, de Guastavino y de Muncunill[58] en los que la técnica tabicada se propone como el elemento significativo de todo el proceso constructivo, pero ni la obra de Sugrañés ni la de los autores catalanes del siglo XX conseguirán restituir —con la misma eficacia de la arquitectura construida— las innumerables potencialidades de una técnica constructiva conocida pero nunca estudiada con profundidad.[59]

Especificidad del sistema constructivo tabicado y de los modelos de explicación

En el ensayo «The transfer of thin masonry vaulting from Spain to America»,[60] George R. Collins destaca tres conjuntos temáticos dentro de los que rastrear y acotar las características fundamentales del sistema constructivo tabicado. El estudio desarrollado por Collins, centrado en el análisis de los aspectos morfológicos, constructivos y estructurales, representa una útil senda en la que insertar una serie de profundizaciones sucesivas. La determinación de estos tres conjuntos temáticos —análisis morfológico, constructivo y estructural— que filtran, seleccionando, todo el cuerpo cognoscitivo para restituir solo los datos, las informaciones, objeto de interés, permite entender la especificidad de la construcción tabicada a través de diferentes niveles de lectura.

En particular, la distinción morfológica conduce a una diferenciación entre las bóvedas realizadas con elementos pétreos o cerámicos dispuestos radialmente y aquellas donde los mismos elementos se disponen «de plano», o en las que los elementos no tienen posición preferente. Con relación al proceso constructivo es posible distinguir entre las estructuras construidas sin el auxilio de cimbras permanentes, de aquellas en las que son indispensables. El diferente comportamiento estático que ofrecen las diversas tipologías de bóvedas permite subdividir las construcciones en dos grandes clases: de una parte, las construcciones abovedadas realizadas con sillares pétreos o ladrillos en las que juega un papel fundamental la fuerza de la gravedad y por tanto la masa de la construcción; de la otra encontramos aquellas estructuras caracterizadas por un uso considerable de mortero en las que la estabilidad se basa en los esfuerzos de cohesión interna entre los diversos materiales que constituyen la bóveda.

La caracterización morfológica

Aunque difícilmente se puede trazar una cronología de las construcciones abovedadas de plano, en el momento actual se puede decir que el uso de este tipo de bóveda era conocido por los constructores asirios. Nicolò Mastruzo atestigua la presencia de bóvedas construidas con ladrillos dispuestos de plano en las tumbas principescas del Palacio noroeste de Nimrud en Iraq, fechado en el primer milenio a.C.[61]

Rafael Guastavino, en su tratado sobre la construcción cohesiva,[62] cita el hallazgo de una tumba en Gizeh, por el coronel Campbell, cubierta por una bóveda constituida por grandes ladrillos crudos dispuestos de plano sobre cuatro filas superpuestas. Estos ladrillos, que medían 17 × 26 × 50 cm, se confeccionaron ya curvados —dada la dimensión de la bóveda— y puestos a secar a continuación. Según Guastavino tal ejemplo constituye el primer testimonio de estructura cohesiva completamente desarrollada porque los constructores, tratando de obtener una bóveda con el menor número posible de juntas radiales, colocaron los ladrillos de plano, y al mismo tiempo tuvieron la prudencia de no superponer nunca las juntas de las diferentes capas.

Sin embargo, los constructores romanos serán los que adoptaran el uso a gran escala de los ladrillos dispuestos de plano en las construcciones abovedadas.

La bóveda constituía la mayor y más delicada aplicación de la *opera cementizia* de los romanos, porque requería particular habilidad y experiencia técnica. En particular Vitruvio clasifica las bóvedas de cañón, diferenciando cuatro clases: las de fábrica, con arcos de madera y cañizo, colgadas de ganchos metálicos y aquéllas que son dobles. Según Rivoira:

> Las suspendidas se construían preparando una serie de reglas de hierro curvadas en arco sobre las que se disponía —de dos en dos— un suelo de tejas planas sin bordes. Los arcos, a su vez, estaban suspendidos, mediante numerosos tirantes de hierro, del entablado superior.

En la parte superior se embadurnaban las juntas con arcilla amasada con borra; y se volvía a cerrar, por el intradós, con ladrillo machacado con cal, y se pulía con el estuco, y con la cal. De tales bóvedas se recomendaba el uso de las dobles en los caldarios de los baños, a fin de que el vapor se disipase entre las dos bóvedas, y no llegase a dañar las maderas del entarimado.[63]

Después de los primeros tiempos, en los que las bóvedas se construían con el auxilio de un encofrado de madera, la técnica de la fábrica progresó introduciendo un sistema más fácil y más rápido de cimbrado: la construcción de una delgada pared curvilínea de ladrillo, trabada con cal y yeso de agarre fraguado rápido, sobre la

que continuar el fraguado de la *opera cementizia*, permitiendo así una buena adherencia del enlucido.[64] Los ladrillos que se empleaban para este fin tenían dimensiones variables con relación al radio de curvatura de la bóveda; partiendo de los «bessales» o de las simples tejas sin bordes, hasta los «sesquipedales» y los más grandes «bipedales». Frecuentemente, cada 4 ó 5 ladrillos se colocaban unos ladrillos similares a sardinel, en red o al tresbolillo, con un pequeño saliente en el intradós y el resto del largo en el trasdós, con el fin de aumentar, respectivamente, la adherencia del enlucido de debajo y de mejorar la sujeción con la masa de cemento vertida arriba.[65] En algunos ejemplos de construcciones todavía existentes se pueden ver asomando de la masa de hormigón después de la caída de las capas de ladrillo inferiores.

Bóvedas con elementos dispuestos de plano se encuentran en diversas zonas de la cuenca mediterránea. Además de España es necesario recordar que también en Portugal y en la región francesa del Rosellón estas bóvedas están ya presentes en la arquitectura medieval.[66]

En Argelia las bóvedas construidas con elementos dispuestos de plano se llaman «rhorfas». Por la simplicidad y economía de construcción, que no prevé el empleo del acero, la adopción de esta técnica se incentiva por el gobierno francés en todos sus territorios durante e inmediatamente después de la Segunda Guerra Mundial.[67]

Aunque la realización de las bóvedas de crucería gótica, tal y como aparece en el *Dictionnaire raisonné* de Viollet-le-Duc y en otras reconstrucciones históricas, parece basada en la construcción de ligeros plementos constituidos por piedras talladas en forma de delgados paralelepípedos, y dispuestos en obra de plano con el auxilio de una cimbra deslizante apoyada sobre los nervios que constituyen las nervaduras. La verosimilitud de estas reconstrucciones históricas parece respaldada por sondeos hechos por varios estudiosos en las bóvedas de algunas catedrales. Según Viollet-le-Duc las bóvedas de Nôtre Dame de París tienen quince centímetros de espesor; Bassegoda Nonell da cuenta de que los espesores de las bóvedas de Salisbury son todos de dieciocho centímetros, mientras que los de la bóveda de la capilla del King's College miden doce centímetros. Otros ejemplos parecen rebatir esta hipótesis, como el de la catedral de Reims, donde el espesor de las bóvedas es de sesenta centímetros.[68] La construcción se hacía mediante la puesta en obra de piedras, todas de la misma dimensión en la cara del intradós, de tal modo que los plementos pareciesen construidos según precisos criterios geométricos contribuyendo así a la creación del ideal de la construcción racional, enaltecida por la desnudez de los materiales, que debía ser una de las cualidades de las catedrales góticas. En toda situación donde la construcción de los muros y de las bóvedas no pudiese acontecer según estos cánones, se procedía al recubrimiento de la estructura y al trazado de falsas juntas, según retículas geométricas, sobre el enlucido.[69]

Sin embargo, es en Italia donde se asiste al perdurar de la técnica constructiva de las bóvedas de una hoja. Según Choisy esta técnica representa más bien la continuación de las bóvedas con elementos cerámicos dispuestos de plano, típicas de la arquitectura romana de la que se ha hablado hace poco.[70] Seguramente presentes desde el periodo renacentista, pero con probabilidad usadas en el periodo medieval,[71] será durante los siglos XVII, XVIII y XIX cuando estas estructuras se utilizarán masivamente en todos los campos de la arquitectura, encontrando en el tratado de Guarini la primera codificación oficial.[72]

La caracterización constructiva

Durante mucho tiempo las técnicas que permitían la construcción de las bóvedas sin recurrir al auxilio de cimbras continuas que sostuviesen la construcción hasta el momento de su terminación, o hasta que el agarre y endurecimiento de los morteros no garantizasen el equilibrio necesario, han representado el ejemplo más alto de la *téchne*, de ese «arte de hacer» que constituía la fuerza y el poder de las corporaciones de los constructores. El ejemplo muy conocido de la cúpula de Santa María de la Flor es el mejor testimonio, pero también es ejemplar el caso de la empresa de Guastavino que en América consigue prácticamente y durante largo tiempo la exclusiva de todas las realizaciones importantes donde se requiriese la construcción de una cúpula o de una bóveda.[73] Tratar de resumir las principales técnicas constructivas que prescinden del uso de las cimbras equivale al intento de resumir en pocas palabras cuáles son las conquistas tecnológicas más importantes, tarea ingrata porque esta discusión implicaría, en realidad, la introducción de una serie de problemas que de momento excede el interés especifico del presente estudio.

Cuestiones prácticas de ahorro de materiales y, también, de racionalización del proceso constructivo en general estuvieron en el fondo de las tentativas que condujeron a la aparición de las primeras técnicas simplificadas de construcción en las llanuras mesopotámicas y sus desarrollos sucesivos. Paralelamente a la difusión de las formas abovedadas, estos aspectos económicos y constructivos estimularon siempre la búsqueda de construcciones óptimas.

Los dos sistemas principales de construcción sin cimbra[74] que se difunden, en época histórica, en la cuenca mediterránea y en la zona del oriente medio son: a) la construcción que contempla arcos inclinados de aproxi-

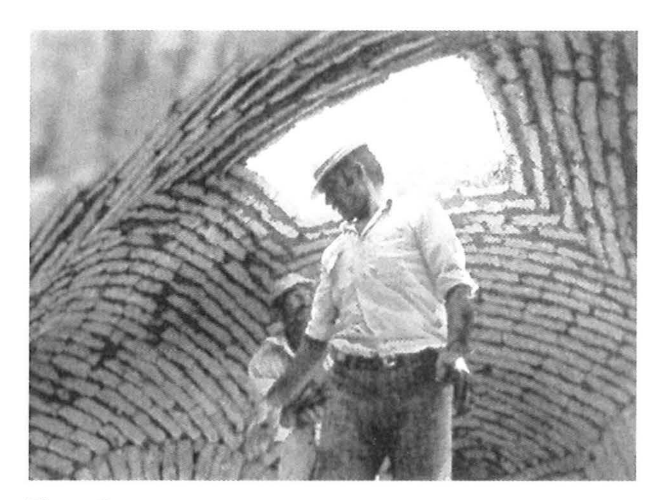


Figura 7
Construcción de una bóveda con los ladrillos a sardinel



Figura 8
Fase constructiva de una bóveda tabicada. Se realiza sin ningún apoyo o cimbra

madamente 12°–15° respecto al plano vertical, constituidos por ladrillos, cocidos o crudos, unidos con mortero de agarre rápido, o simplemente barro, puestos en obra con sus lados planos coincidentes con el plano del arco inclinado (Fig. 7); b) la construcción constituida por ladrillos puestos de plano, o sea puestos con su plano tangente al intradós de la bóveda, en una o más capas superpuestas y unidas siempre por morteros de agarre rápido (Fig. 8).

La presencia del mortero de agarre rápido constituye la condición necesaria para que se pueda realizar la bóveda por cuanto el mortero proporciona las tensiones que permiten el equilibrio de la construcción en fase de ejecución.

En la técnica de hileras inclinadas, cada arco construido hace de soporte sobre el que descarga el peso del arco en construcción, en esta operación desempeña un papel importante la argamasa de barro que, constituyendo una capa de interposición entre una hilada y otra, contribuye al equilibrio. Partiendo de un muro de fondo de apoyo la construcción avanza hasta el encuentro con la pared de cabecera en el lado opuesto. Muchas evidencias arqueológicas egipcias muestran un refuerzo de la bóveda conseguido con la superposición de ulteriores hileras de ladrillo inclinados en el sentido opuesto al de la capa inferior. En Mesopotamia, donde la técnica de arcos inclinados aparece hacia el 2000 a.C.,[75] los restos arqueológicos muestran en cambio la utilización de una sola serie de arcos. Sólo en épocas posteriores aparecerán estructuras con sucesivas series de arcos inclinados.

En Ctesifonte se erigió la estructura más ambiciosa con una cubierta de arcos inclinados. Se trata del palacio aqueménida llamado Taq Kisra cuya sala de 25,5 m de luz está cubierta por una bóveda de hileras inclinadas y de capas superpuestas cuya altura máxima es de 28,4 m.

En la arquitectura bizantina fueron de empleo frecuente estructuras abovedadas de arcos inclinados. La espacialidad y la complejidad geométrica de estas bóvedas se relacionan directamente con modelos tipológico-formales de procedencia romana, como la bóveda de arista. Las técnicas de ejecución y las formas de las bóvedas bizantinas no parecen sufrir ninguna transformación desde el siglo V o VI —periodo del máximo esplendor justiniano— hasta las últimas realizaciones del siglo XIV. La única variación hallada la constituye el espesor de la junta de mortero que alcanza en la fase tardía una dimensión considerable, de casi una vez y media el espesor del ladrillo.

Aunque la arquitectura de las potentes dinastías islámicas extrajo formas y técnicas de las antiguas civilizaciones mesopotámicas y egipcias, se perfeccionó con la aportación de la cultura constructiva sasánida, después de que Persia cayese bajo el control islámico.

Durante el alto medievo, las perfeccionadas técnicas árabes se difundieron por el norte de África hasta llegar a la Península Ibérica, donde la expansión islámica se detuvo a partir del encuentro con los reyes merovingios.

Las primeras estructuras abovedadas ejecutadas sin cimbra que se encuentran en España son propias de la arquitectura islámica y del mundo oriental: son las estructuras de arcos inclinados. Un interesante ejemplo de estas construcciones se encuentra en Romilla, a pocos kilómetros de Granada, en las bóvedas de una torre fechada en la época de la dinastía nazarí (1250–1492).[76] Las dos plantas bajas se cubren con bóvedas de cañón cilíndricas construidas con el método descrito, con ladrillos de dimensiones de 29 × 14,5 × 4 cm; en los dos pisos superiores las bóvedas de arista están construidas sin cimbra, a la manera bizantina.

En España, la técnica de arcos inclinados se llama «a bofetón» y se encuentran también ejemplos en la cubierta de la sala de las Ninfas de la torre de Comares en la Alhambra de Granada (hacia 1333), y en Cáceres en la casa llamada «de las Veletas» (siglo XI).[77]

El otro sistema de realización de bóvedas sin cimbra es el que emplea ladrillos dispuestos de plano y unidos con mortero de agarre rápido. Dentro de esta familia se encuentran sin duda las bóvedas tabicadas (Fig. 9).

Como se precisó anteriormente, durante la época romana se adoptó el sistema de colocar entre la cimbra de madera y el vertido del hormigón una capa de ladrillos cuadrados que, al menos en una primera época, tenían la función de revestimiento de la masa de hormigón.

El siguiente paso fue el de reforzar el primer manto de ladrillos con una segunda capa constituida por ladrillos más pequeños —puestos inicialmente sólo sobre los encuentros de las juntas de la capa subyacente— obteniéndose así una estructura más resistente que permitía una reducción notable del empleo de cimbras.[78] Además de permitir la reducción de éste, en algunos casos, cuando las luces no eran grandes, el sistema permitía la eliminación total del andamiaje de apoyo en cuanto se conseguía construir la capa con ladrillos puestos de plano directamente con el auxilio de morteros de agarre rápido ricos en cal.[79]

Según la opinión de Rivoira, del recuerdo de esta construcción las poblaciones sucesivas habrían desarrollado las bóvedas de ladrillo de plano tomadas con yeso que se conocen en Italia con el nombre «volterrane».[80] Estas construcciones, conocidas también con el nombre de bóvedas de una hoja y difundidas sobre todo el territorio italiano, pero sobre todo en la Italia central, se componen de una única capa de ladrillos[81] cuyo aparejo presenta las mismas variantes que veremos a continuación en las bóvedas tabicadas. Realizadas como éstas sin el auxilio de armaduras de apoyo, podríamos encontrar ejemplos de construcciones abovedadas tardo imperiales en las que el núcleo de conglomerado superior, ya empobrecido de su componente más precioso, la *puzzolana*, se convertía en un simple relleno y, disminuyendo de volumen, se desplazaba hacia los lados de la bóveda de manera parecida a lo que sucede en las bóvedas de una hoja, donde el material de relleno tiene, principalmente, función estabilizante.[82]

La caracterización estructural: de la hipótesis de Guastavino a los modelos explicativos de la primera mitad del siglo XX

La oposición conceptual entre estructura cohesiva y estructura gravitatoria aparece por primera vez en el importante escrito de Rafael Guastavino Moreno *Essay on the theory and history of cohesive construction*.[83] El autor propone una explicación de la construcción cohesiva que se centra en un aspecto preciso de las estructuras abovedadas con rasillas: el monolitismo de la construcción, cualidad conferida por la acción adherente del mortero presente.[84] Para Guastavino éste es el origen de las óptimas prestaciones mostradas por las estructuras tabicadas realizadas en Cataluña y en los Estados Unidos en las que los delgados ladrillos se disponían de plano. Rapidez y economía de ejecución y la elevada resistencia ante las cargas aplicadas —especialmente si se compara con la extrema ligereza de estas bóvedas— constituyen las pruebas más eficaces de la validez de este método constructivo.

La importancia del texto de Guastavino reside en que constituye la primera contribución a la aclaración de un aspecto de la construcción abovedada hasta entonces poco estudiado: el estructural. Como se ha señalado anteriormente es la componente estructural la que permite la separación entre estructuras de gravedad y estructuras cohesivas, pero para existir tal componente se debe reconocer como tal. Guastavino hizo este primer reconocimiento describiendo el diferente comportamiento estático y mecánico de las estructuras tabicadas respecto a las estructuras de sillares o de gravedad, las únicas para las que existían estudios científicos que, desde los estudios de Leonardo, se fueron perfeccionando gracias a las contribuciones de Galileo y de los matemáticos franceses de los siglos XVII y XVIII.

Guastavino la impulsa todavía más al postular la existencia de una construcción cohesiva claramente distinta de la de gravedad en todas las principales edades históricas, con la sola excepción de la civilización griega. Las dificultades ligadas al hallazgo de fuentes directas en el ámbito de la historia de las técnicas constructivas hace problemática una aceptación completa de las tesis del autor valenciano aún cuando es preciso subrayar



Figura 9
Pedralbes. Barcelona. Bóvedas ejecutadas con ladrillos sentados de plano en una única hoja

que el primer estudio sobre la contribución del mortero en las construcciones abovedadas se hace en el siglo XVIII.

Coulomb introduce por primera vez los conceptos de rozamiento y cohesión en el estudio de las bóvedas,[85] aplicándolos sobre el modelo de sillares con juntas radiales que se elaboró hacia el final del siglo XVII por Philippe de la Hire. En la obra del celebre autor francés el análisis del comportamiento estático del arco se basa en el principio de la dovela que empuja contra las caras de los sillares laterales. Por tanto, toda la estructura está formada por una serie de elementos rígidos, los sillares, entre los cuales se desarrolla alguna fuerza de rozamiento. El equilibrio global se obtiene por contrarresto entre los elementos contiguos, los cuales conducen las cargas hacia las impostas laterales. Bajo esta óptica sólo una rotación de las mismas impostas puede significar el colapso de la estructura y por esto se deben dimensionar adecuadamente mediante reglas de carácter geométrico, las únicas que en aquel tiempo se estudiaban.

A pesar de que numerosas estructuras abovedadas erigidas desde el tiempo de los romanos hasta aquellos días testimoniasen la validez de un sistema constructivo donde la introducción del mortero garantizaba prestaciones tranquilizadoras, la comunidad científica pareció desinteresarse por estas estructuras abovedadas en piedra tallada de las que ya los estudiosos de la estereotomía, comenzando con Delorme, habían indicado cuáles eran las únicas dignas de aparecer en un simposio de autoridades científicas.

La introducción de la cohesión en el estudio de los arcos y de las bóvedas hecha por Coulomb se debe entender como un refinamiento del modelo estructural teórico propuesto por De La Hire. El íntimo enlace que hizo posible la notable cantidad de mortero presente en las estructuras tabicadas de las que se ocupa Guastavino no es seguramente comparable a los efectos de la cohesión que los lechos de mortero inducen en las estructuras de sillares.[86]

Conceptualmente la estructura tabicada, «cohesiva» en la acepción de Guastavino, se aproxima más a las estructuras constituidas por un material homogéneo y elástico. En efecto, el constructor valenciano asume, como instrumentos de investigación experimental para sus estructuras, los métodos de estudio propios de la Ciencia de la Construcción que en el siglo XIX hizo su imponente entrada gracias a los estudios de los Ingenieros de la *École des Ponts et Chaussées* y de la *École Polytechnique*.

En este sentido se movieron también los profesores de la Escuela de Arquitectura de Barcelona y otros estudiosos catalanes que, desde finales del siglo XIX hasta los primeros decenios del XX, aplicaron al estudio de las bóvedas tabicadas la teoría de la elasticidad. A partir del profesor Juan Torras Guardiola, docente de Mecánica en el ateneo barcelonés, del que Guastavino fue alumno, la estructura tabicada se investiga a través de los principios de Estática Gráfica perfeccionada por Culmann y a través de las hipótesis de Navier y de Méry. Estos introdujeron la hipótesis de la distribución lineal de las tensiones en el interior de la sección (Navier) y la de la mejor posición de la curva de presiones a fin de eliminar las dificultades relacionadas con la hiperestaticidad de la estructura del arco vinculado por los extremos (Méry). A continuación de esta primera aparición de los términos y de las hipótesis propias de la teoría de la Elasticidad en los estudios de Torres Guardiola, Rafael Guastavino y Félix Cardellach se dio el impulso decisivo hacia una interpretación más radical de la estructura tabicada entendida no como una estructura de sillares con la presencia de mortero, como todavía era en la definición de Torres Guardiola, sino finalmente pensada como estructura homogénea y con un comportamiento elástico.

Para demostrar esto Guastavino puso en pie un vasto programa de experimentación con el fin de comparar los resultados obtenidos con pruebas de carga sobre estructuras de gravedad y sobre estructuras tabicadas. Con estas últimas realizó también unas soleras, o sea unas estructuras tabicadas planas, no arqueadas, de las que midió la resistencia a tracción y a flexión. Los resultados se muestran en el interior del *Essay on theory and history of cohesive construction* y constituyen la primera tentativa de análisis científico del comportamiento de las construcciones tabicadas de las que el autor cree poder averiguar la causa de la particular función desarrollada por los consistentes espesores de mortero.[87] Según estas hipótesis, éstos desarrollarían una no bien definida función de *protección*[88] de las juntas radiales que permitiría la absorción de las tensiones de tracción, tensiones que de otro modo provocarían la apertura de grietas en las mismas juntas.

Quien elaboró una primera aproximación semiempírica dirigida a la creación de un método práctico de comprobación fue Antonio Gaudí en cuya arquitectura la técnica tabicada se convierte en un sistema constructivo completo.[89] Para el célebre arquitecto catalán esta exigencia fue preponderante sobre la necesidad de una elaboración teórica más compleja y fue la razón de su vasta práctica constructiva de cuya riqueza nos queda noticia en los escritos de algunos de sus colaboradores y alumnos. En la concepción de Gaudí, la estructura tabicada aparece anclada a la interpretación originaria de Torras Guardiola, que aplica a esa estructura la hipótesis de Méry. En cumplimiento de esta hipótesis la línea de presiones final relativa a una estructura realizada con la técnica tabicada debía necesariamente estar comprendida en el tercio medio de la sección; para obtenerlo Gau-

dí hacía interaccionar unas fuerzas virtuales las cuales debían representar la presencia del mortero al que se hacía absorber los esfuerzos de tracción. En el caso de que estas fuerzas virtuales fuesen menores que la resistencia máxima a tracción del mortero el equilibrio podía darse por comprobado.[90]

El arquitecto Jaime Bayó Font, docente de Resistencia de Materiales, dio el impulso decisivo a la aplicación de la teoría de la elasticidad a las bóvedas tabicadas, comparándolas con «una pieza o lámina flexible, con la diferencia de tener distintos coeficientes elásticos a la tensión y a la compresión».[91]

Bayó, en relación con las cimbras arqueadas de Emy constituidas por filas superpuestas de tablas curvas de madera, aplicó la teoría de los arcos elásticos continuos y articulados en los apoyos, advirtiendo que la aproximación al modelo era tanto mejor cuanta mejor calidad tuviesen los materiales empleados. La aproximación elástica no resultaba totalmente satisfactoria en las aplicaciones prácticas ya que en los apoyos de los extremos se constataba un cierto grado de empotramiento, entre uno y dos tercios del perfecto, y las deformaciones permanentes, debidas a los efectivos estados tensionales, alcanzaban valores próximos al diez por ciento de las puramente elásticas.

Al mismo Bayó se atribuyen también algunas consideraciones generales sobre las bóvedas tabicadas, y en particular sobre la estrategia a adoptar en el proyecto de secciones y espesores óptimos, a fin de aprovechar mejor la potencialidad elástica de este sistema en relación a su equilibrio y a su resistencia.

> Por lo tanto deberá darse mayor espesor al punto de la bóveda en que el momento de flexión es máximo, y al contrario si se trata del punto de inflexión.
> En los ejemplos de arcos simétricos hemos podido ver que la flexión del arco era tanto mayor, cuanto más grande era la altura, y que a medida que ésta aumenta, corresponde mayor espesor en la clave y menor en los arranques, pues en éstos sólo ha de resistir compresiones, que disminuyen a medida que la altura del arco aumenta.
> Si en lugar de ser arcos peraltados fueren arcos muy rebajados, sucedería todo lo contrario, pues la flexión es casi nula y la línea media se diferencia muy poco del funicular de las fuerzas elásticas, trabajando el arco sólo a la compresión, y como ésta es menor en la clave que en los arranques, de aquí que corresponda a éstos mayor espesor. Las formas trabajadas son las más empleadas por la generalidad de los constructores, pues así pueden calcular estas bóvedas, como las doveladas, es decir, trabajando a la compresión, mas no podrían hacer lo mismo si pretendieran construir bóvedas de algún peralte, en las que precisa tener en cuenta el momento de flexión. Para obviar las inconveniencias de la flexión que se produce en las bóvedas de gran altura, se construyen equilibradas a la presión, adoptando para ello formas que comprendan a la curva de presiones.
> Si a pesar de esto se quieren construir bóvedas equilibradas o de igual resistencia, que respondan al proyecto sugerido por la imaginación del artista, se procederá de tal manera que después de determinar el funicular de las fuerzas elásticas, se dan a la bóveda espesores relacionados con los momentos de flexión.[92]

El arquitecto y profesor de Construcción Juan Bergós Massò expone en una de sus obras una amplia reseña de las contribuciones de sus predecesores sobre las teorías acerca de las bóvedas tabicadas que constituye una original elaboración del funcionamiento estructural de las mismas.

> Resumiendo los conceptos fundamentales, podemos decir que la bóveda tabicada simple cilíndrica no es una sucesión de arcos tabicados, sino una placa curva monolítica en toda la extensión del tramo; la red de líneas de esfuerzos se puede descomponer, para simplificar, en unas líneas de fuerzas principales contenidas en las secciones planas directrices y en otras transversales a ellas (no siempre planas); análogamente sucede en las bóvedas esféricas completas y con las vaídas, y también en las bóvedas compuestas (de arista, alunetadas, etc.). Estas fuerzas interiores se traducen en tensiones no sólo de compresión sino también de tracción, cortadura y desgarramiento, la intervención de la semielasticidad y del semiempotramiento, provocado por las rozas de apoyo, reducen su empuje, pero su rotura se produce sistemáticamente por flambaje en los arcos, de perfil mecánico y por flambaje y flexión en los de directriz no mecánica, debido a la exigüidad de espesor de la bóveda.[93]

En *Tabicados huecos*, el autor cita el resultado de un vasto programa de experimentación realizado sobre elementos tabicados ejecutados con ladrillos perforados, a los que aplica los métodos de investigación de las estructuras realizadas con materiales homogéneos y elásticos. Todavía hoy, este trabajo constituye la relación detallada de la más vasta experimentación realizada sobre estructuras tabicadas sometidas a cargas de compresión, tracción, flexión y flexocompresión con el fin de obtener los parámetros más significativos como el módulo de elasticidad y los vínculos constitutivos relativos a las diversas solicitaciones. En cada prueba se presta atención particular a identificar la subordinación del comportamiento mecánico a las diversas relaciones que se pueden establecer entre el mortero y el ladrillo.[94]

Del análisis de los métodos de cálculo de las bóvedas tabicadas examinados en el panorama histórico, como tentativas de profundizar en la mecánica del sistema tabicado, Bergós Massò deduce una consideración de importancia relevante: «el principal obstáculo a su progreso ha sido el vano empeño, de ingenieros y matemáticos principalmente, de violentar la realidad para ajustarla a las verdades de la "Mecánica Racional"».

El monolitismo de la estructura abovedada, que como ya se ha subrayado constituye la característica fundamental de las construcciones cohesivas, se encuentra en numerosos ejemplos pertenecientes a diversos periodos históricos. A Guastavino se debe el derecho de primogenitura de las tesis según las cuales las construcciones abovedadas que tienen tales características se deben estudiar separadamente de las construcciones de gravedad, vista la diferente naturaleza y los diversos comportamientos estáticos.

Las principales estructuras abovedadas a las que la propiedad de los morteros de unión confieren la característica del monolitismo son: la bóveda romana de hormigón, de la que deriva la bóveda de hormigón moldeado difundida tanto en la Edad Media como en el Renacimiento, y la bóveda bizantina que disfruta el principio de los arcos inclinados. Si bien estas estructuras pesadas parecen distantes de las delgadas construcciones de rasillas de las que se ocupa Guastavino, parten de una concepción estructural análoga a las de las bóvedas tabicadas que tiende a minimizar el efecto más temido por los constructores: el empuje en los apoyos.

Éste fue un objetivo básico para los constructores romanos que, para cubrir los amplios espacios de su arquitectura, perfeccionaron una técnica que reunía simplicidad de ejecución y optimización estructural aprovechando las cualidades de la *puzzolana*. El ejemplo más admirable de tal maestría se encuentra en las grandes cúpulas, de las que la del Panteón se puede considerar ejemplo emblemático. Realizada completamente en un hormigón constituido por material de densidad variable para aligerar el peso de la estructura, se comporta más como un cascarón revestido que como una estructura de empuje. El estudio de la sección de esta célebre arquitectura muestra cómo en la zona del apoyo de la cúpula, donde más necesaria sería la realización de un añadido al muro del tambor con el fin de aumentar la carga vertical en esta zona crítica, en realidad el muro se vacía para realizar un corredor anular. Sólo una técnica constructiva capaz de reducir el empuje de la cúpula ha permitido tal solución.

En menor medida, las mismas ventajas se obtienen en la construcción de las bóvedas de cañón o de arista. Adam a este propósito observa: «[...] la bóveda de fábrica unida con mortero asume un particular carácter estático después que, terminado el endurecimiento del mortero, la cimbra se retira. Efectivamente, el resultado (suponiendo una óptima cualidad del mortero) es el de una masa monolítica en la que se excava un volumen; los efectos debidos a los empujes laterales no aparecen, ya que se absorben de manera considerable por la capacidad de cohesión del mortero, que impide a los elementos desplazarse».[95]

Para obtener una reducción efectiva del empuje, las bóvedas o las cúpulas, realizadas por capas horizontales, se debían construir antes de que se levantasen los muros por encima del plano de sus impostas. De esta forma podía tener lugar el natural asentamiento debido al fraguado de las capas superiores y al agarre. En cambio, si a continuación del asentamiento de la estructura, las impostas de las bóvedas no se hubiesen podido deformar, habrían aparecido fuerzas de reacción sobre los muros de límite y, en definitiva, se habrían originado empujes.

La bóveda monolítica del Mausoleo de Teodorico constituye el ejemplo más famoso de estructura sin empujes asimilable a un arco isostático.

En 1946 Bonaventura Bassegoda Mustè, en su discurso *La bóveda catalana*, leído en la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, subrayaba la importancia de dejar asentar a la bóveda tabicada antes de cerrarla contra las impostas. De manera parecida a lo que sucedía en las bóvedas romanas esta operación señala como indispensable el logro del equilibrio elástico para la consecución de condiciones más próximas a las del isostatismo, y por tanto para limitar los empujes ejercidos.

Las condiciones de isostatismo permiten equiparar las solicitaciones actuantes sobre un arco constituido por material elástico a las que se tendrían en una viga que tuviese la misma luz de cálculo;[96] de lo que se deduce que la estructura del arco isostático está solicitada fundamentalmente a flexión mientras que los empujes horizontales son nulos en las impostas. Vemos, por tanto, que las condiciones necesarias para la anulación de los empujes, o sea monolitismo e isostatismo, hacen vanos los esfuerzos anteriores que llevaron a la adopción de las estructuras de arco en las construcciones de gravedad, los cuales se basaron en la aproximación de la línea de las presiones al eje geométrico del arco de modo que se minimizase la flexión utilizando el material fundamentalmente a compresión. Contrariamente, de diversos estudios llevados a cabo sobre la técnica tabicada, emerge claramente la capacidad de las estructuras realizadas con este sistema de resistir también unos considerables esfuerzos de tracción y por tanto de flexión. Estaba claro, primero a los constructores y a continuación a todos los que estudiaron el comportamiento de las bóvedas tabicadas, que esta particular técnica permitía tanto limitar considerablemente el empuje sobre las impostas como realizar geometrías estructurales que, si bien no llegaron a aproximar la línea de presiones al eje geométrico de la construcción, satisficieron particulares demandas de orden formal o funcional.

La construcción cohesiva[97] permite la reducción del empuje de las grandes bóvedas mediante la realización de estructuras que pueden asumir la posición de equilibrio elástico durante la fase de maduración del hormigón, y después se comportan como un monolito isostáti-

co, descargando sólo pesos verticales sobre las paredes de apoyo.[98]

La oposición conceptual entre las construcciones de gravedad y las cohesivas, que aparece por primera vez en las páginas del *Cohesive Construction* de Guastavino, permite poner de relieve un comportamiento estructural de la construcción tabicada diferente y más complejo, y de subrayar aquellos caracteres de perfeccionamiento y optimización de la estructura abovedada que la introducción de esta técnica ha supuesto (Fig. 10).

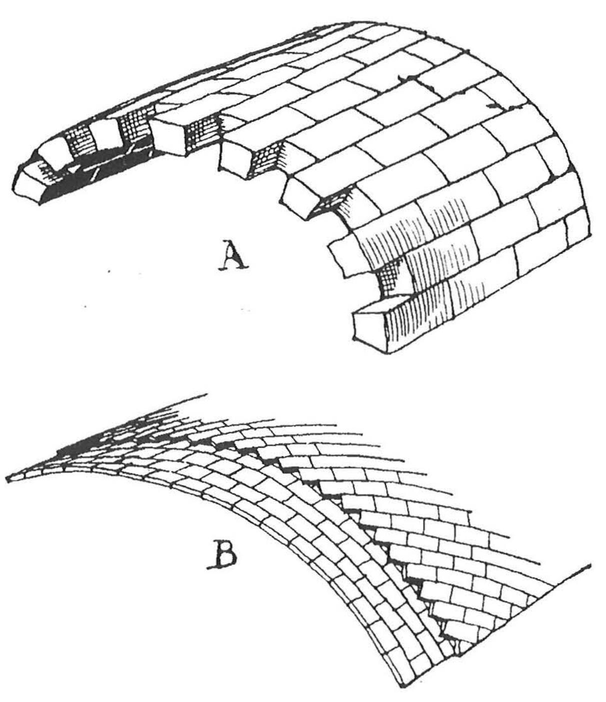


Figura 10
Comparación entre las bóvedas de piedra y las tabicadas. (Luis Moya, *Bóvedas tabicadas)*

Evolución y permanencia de la técnica tabicada en la arquitectura histórica española

La huella de la arquitectura almorávide

Una cuestión todavía abierta sobre la aparición de la técnica tabicada concierne al reconocimiento o no de la influencia ejercida por la cultura constructiva árabe. Esta cuestión implica otra más específica relacionada en cambio con la hipótesis de que hayan sido las cuadrillas de obreros de origen árabe las que hiciesen posible, con su bagaje técnico-constructivo, la aparición de esta construcción como evolución de modelos no específicos de la gran arquitectura árabe.

En torno a estos interrogantes giran diversas interpretaciones y reconstrucciones históricas que, aunque de forma distinta, concuerdan en reconocer en el periodo medieval el momento en el que, después de una breve incubación, floreció la técnica tabicada.[99]

Con motivo de una conferencia celebrada el 19 de noviembre de 1952 en la sede del Fomento de las Artes Decoratives de Barcelona[100] y titulada *Bóvedas tabicadas*, Buenaventura Bassegoda Mustè destaca: «La región catalana, situada en la confluencia de la corriente del mediodía francés con el levante peninsular, saturado del modo bizantino, a través del musulmán, es suelo feraz para que fructifique con lozanía el injerto de ambas prácticas edificatorias».[101]

Todavía más explícita en este sentido es la tesis de Joan Bergós citada en un escrito de 1965: «Los sarracenos de Mauritania no conquistaron Ilerda (en 714) por proselitismo religioso sino por la riqueza de su suelo; su política fue de atracción y convivencia. Su afección por la agricultura y por la vida campestre encajó bien con la tradición íbera y romana; y su destreza por la construcción de ladrillería y yeso, como herederos de la tecnología bizantina, les daba singular aptitud para la ejecución de los elementos tabicados romanos».[102]

Los dos pasajes citados subrayan que la aparición en Cataluña de la técnica tabicada en el Medievo se debió principalmente al refinamiento realizado por los árabes de la más antigua técnica constructiva romana que preveía la adopción de una capa de ladrillo puesto de plano como encofrado perdido. Es conocido que los constructores árabes se mostraron particularmente sensibles a la asimilación, reelaborándolos, de los modelos arquitectónicos y constructivos propios de los países conquistados. En particular las primeras construcciones realizadas por ellos en España, como la mezquita de Córdoba, recuerdan formas constructivas visigodas, y en el fondo romanas, presentes en el país en el momento de la construcción en el año 711.[103]

En realidad no se conocen hasta el momento ejemplos de bóvedas árabes construidas con una técnica similar a la tabicada; las mostradas en la literatura están realizadas con la técnica de los arcos inclinados que tiene su origen en Mesopotamia en periodos bastante anteriores. Con esta técnica, usada también por los constructores bizantinos, pero que probablemente era conocida por las poblaciones del oriente medio y norteafricanas antes que el imperio bizantino naciese, están realizadas muchas de las arquitecturas de Granada y Toledo.[104]

La falta de pruebas constructivas que atestigüen la existencia de bóvedas realizadas enteramente con ladrillos puestos de plano y unidos con yeso, relativas a la arquitectura hispano musulmana, no implica que esta técnica no fuese conocida por los constructores de la dinastía almorávide del siglo XII.[105] Esta dinastía de origen beréber avanzó, hacia la mitad del siglo XII, más al

norte fundando Marrakech y Tlemcen, en Argelia. En Tlemcen con la técnica de los ladrillos de plano tomados con yeso se construyen, en 1136, según manifiesta una inscripción, los arcos de la cúpula de la Gran Mezquita.[106] Esta estructura, construida por cuadrillas de obreros provenientes de la Península Ibérica, está realizada con el sistema de los arcos cruzados, típica de la arquitectura hispano musulmana y presente desde los primeros ejemplos construidos en España.[107]

Según la interpretación de Torres Balbás,[108] el proceso de desmaterialización de la estructura resistente realizado por la cultura constructiva islámica se verá recuperado y reforzado a continuación por la arquitectura hispano musulmana, que exagerará estas tendencias, como evidencia el ejemplo de la mezquita de Tlemcen, donde los doce arcos soportan una red de perforaciones en el estuco. En este ejemplo, pero del mismo modo en casi todas las cúpulas de arco entrecruzados hispano musulmanas, es clara la organización jerárquica de los elementos constructivos donde, sin embargo, la estructura portante, los arcos, y la estructura sostenida, o sea los sectores de bóveda que constituyen el cerramiento entre un arco y otro, se fundan en una única forma decorativa. Sobre todo en los últimos ejemplos, como los que se remontan a la dinastía almorávide en los que la piedra deja el puesto al masivo uso del ladrillo y yeso, se evidencia un progresivo proceso de desmaterialización del envoltorio que tiene su culminación en la espléndida cúpula de la mezquita de Tlemcen (Fig. 11).

Los presupuestos funcionales y estáticos de la construcción con arcos entrecruzados se pueden rastrear en la necesidad de construir cubriciones que permitieran la iluminación de los espacios subyacentes garantizando al mismo tiempo las condiciones de estabilidad de la cúpula.

Los arcos de ladrillo unido con yeso debían garantizar tanto la rigidez y monolitismo de toda la estructura, ya que de este modo se reducía considerablemente el empuje sobre los apoyos, como la rigidez en el propio plano para prevenir fenómenos de inestabilidad.[109] El cruce y entrecruce de los arcos aseguraban que la cúpula se comportase como una superficie única y además este recurso permitía reducir la longitud de los tramos libres para eliminar el peligro de inestabilidad a pandeo. Con el fin de suprimir completamente este peligro los constructores árabes de España ajustaban adecuadamente los arcos de modo que estos presentasen «dimensiones transversales [...] muy superiores a las requeridas por la compresión longitudinal».[110]

Procediendo a la construcción del arco con ladrillos puestos de plano y tomados con yeso era posible graduar el espesor, de forma que se podían obtener arcos con alturas variables a intervalos discretos de 5 a 7 cm, obteniendo al mismo tiempo un elemento en el que la adherencia del mortero conseguía homogeneizar el comportamiento. En cambio, si se construía el arco con ladrillos dispuestos radialmente esta graduación era imposible de realizar, y un incremento de altura de un arco con una hilera más habría significado necesariamente un engrosamiento de la base por obvias razones de estabilidad estructural. No conocemos si éste fue el motivo por el que los constructores almorávides utilizaron arcos de ladrillo puestos de plano[111] —por otra parte siempre enlucidos con yeso para obtener superficies con efectos decorativos particulares— pero es indudable que esta técnica permitía una optimización de los pesos, y por tanto estructural. Una consecuencia ciertamente conocida y considerada por las hábiles cuadrillas de obreros del momento.

La arquitectura mudéjar: «arte en España cristiana»

Como claramente definió Borrás Gualis, la arquitectura mudéjar «es arte en la España cristiana, no arte de la España cristiana»,[112] es decir, uno de los productos de esa particular civilización, o mejor, el producto de la influencia del arte de los hispanomusulmanes en la arquitectura cristiana.[113] «El mudéjar sólo fue posible a partir de una pervivencia del arte hispanomusulmán, renovada constantemente con la savia islámica que llega de Al-Andalus, pervivencia difícil de entender desde el concepto europeo de cruzada».[114]

La arquitectura mudéjar está por tanto caracterizada por el uso de técnicas constructivas y aparatos decorativos de procedencia islámica que, interactuando también con el patrimonio técnico de la tradición ibérica y romana, se insertó sobre las tipologías y sobre las necesidades funcionales de la arquitectura cristiana típica de la Europa occidental. La construcción de las catedrales y de las iglesias mudéjares empleó cuadrillas de obreros hispanomusulmanas que transfirieron, sobre el modelo consolidado de la construcción cristiana, técnicas y decoraciones particulares realizadas en materiales pertenecientes a la gran tradición islámica: piedra, madera, ladrillo y yeso.[115]

Entre los estudios que se ocupan del campo de las bóvedas tabicadas y que trazan también un perfil histórico, el ensayo de Joan Bergós es de los que pone de relieve el papel asumido por las cuadrillas de obreros mudéjares en la obra de perfeccionamiento técnico constructivo. Desgraciadamente las pruebas reseñadas no constituyen una referencia directa para nuestro ámbito de investigación. Las informaciones recogidas, registros de los contratos de compra para la remodelación de la catedral de Lérida en 1390, se refieren sólo al empleo en aquel momento de cuadrillas de obreros cristianas y árabes, sin añadir ninguna contribución significativa que no fuese la relativa a la anotación sobre el refinamiento

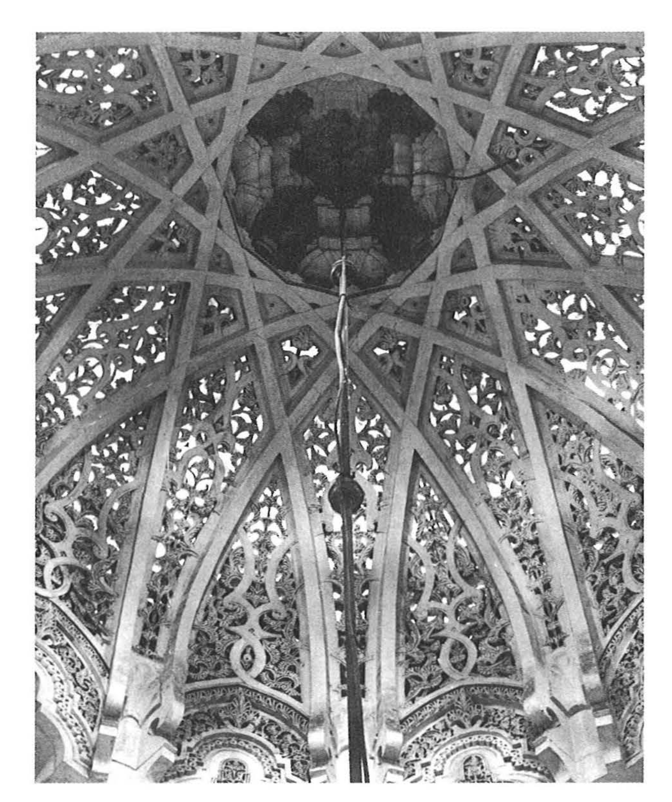


Figura 11
Bóveda del mihrab de la mezquita de Tlemcen. Está clara la organización jerárquica de los elementos constructivos donde la estructura portante, los arcos, y la estructura soportada, esto es, los sectores de bóvedas que constituyen el cerramiento intersticial de los arcos, se funda en una única forma decorativa

de los constructores hispanomusulmanes en razón de la habilidad mostrada en el empleo del «ladrillo tomado con yeso».[116]

Una autorizada refutación de la tesis propugnada por el autor leridano se expresa en tiempos recientes por Juan Bassegoda Nonell. Al referirse a la arquitectura mudéjar aragonesa, Bassegoda Nonell sostiene que la típica construcción mudéjar preveía el empleo de delgadas bóvedas de yeso y piedra a las que se añadía, con la construcción terminada, unas nervaduras también de yeso sin ninguna función estática.[117]

Un ejemplo de arquitectura mudéjar aragonesa que parece contradecir las tesis de Bassegoda Nonell ha sido estudiado por Philippe Araguas.[118] Se trata de la iglesia del pueblo de Belchite (Fig. 12), situado a aproximadamente 40 km al sudeste de Zaragoza. La localidad fue escenario de duros sucesos bélicos durante los años de la guerra civil española, que causaron una gran devastación del centro y forzaron a la población a desplazarse a un nuevo asentamiento. También la iglesia, situada en un extremo del centro antiguo, sufrió graves daños, el mayor de todos el colapso total de la bóveda de la única nave. Edificada completamente en ladrillo, incluidas sus partes estructurales, la iglesia se caracteriza por el destacado empleo de divisiones decorativas de origen hispanomusulmán, como ejemplo típico de arquitectura mudéjar del Bajo Aragón.

Para nuestro estudio revisten gran importancia las tres capillas laterales que conservan gran parte de la cubierta original en bóveda tabicada.

La estructura de estas bóvedas, como fue desvelado por Araguas, presenta dos diferentes aparejos constructivos y dos diferentes geometrías (Fig. 13). Las primeras dos capillas más cercanas al coro —presumiblemente algunos años más antiguas que la tercera— tienen una cubierta con bóveda de arista realizada con ladrillos puestos de plano con los lados largos paralelos a las directrices de los cuatro cañones que forman la intersección, mientras la tercera presenta una bóveda vaída realizada siempre con ladrillos de plano, pero puestos sobre arcos de circunferencia opuestos. La estructura de la bóveda está constituida por una única capa y por encima de ella los constructores mudéjares dispusieron el vertido de un conglomerado constituido por mortero y fragmentos de ladrillos (Fig. 14).

Estamos en presencia, por tanto, de un tipo de bóveda particular derivada de la tradición de las bóvedas romanas de hormigón, pero que, probablemente en el ejemplo aquí estudiado, está evolucionando hacia una estructura diferente. A diferencia de la estructura romana, los ladrillos usados son de dimensiones más pequeñas para que puedan ser fácilmente puestos en obra sin auxilio de cimbras, recurriendo a un mortero de agarre rápido. Sobre esta capa se descargaba el peso del vertido superior.

La distancia que separa la construcción tabicada, presente en la arquitectura catalana de los dos últimos siglos, de estos ejemplos, se puede hallar sobre todo en su diferente concepto estructural. Araguas no indica si la capa de hormigón superior era un relleno o si tenía un función portante. En este reconocimiento se halla una diferencia sustancial. En la bóveda romana el vertido llegaba hasta las impostas de manera que encauzaba los empujes directamente a la fábrica portante. En las bóvedas con relleno, como las conocidas «in folio», características de la Italia central y también llamadas «volterrane», la masa por encima de la bóveda de ladrillo sólo tiene como fin repartir las cargas sobre la estructura abovedada y estabilizarla ante eventuales cargas accidentales que actuasen de manera asimétrica.

En el caso muy probable de que las bóvedas de Belchite presentasen un relleno superior, se tendría la hipótesis de una construcción basada en la técnica romana a través de un proceso de optimización y refinamiento estructural que ha llevado a la capa de ladrillo a absorber funciones portantes. Dato histórico relevante es que tal

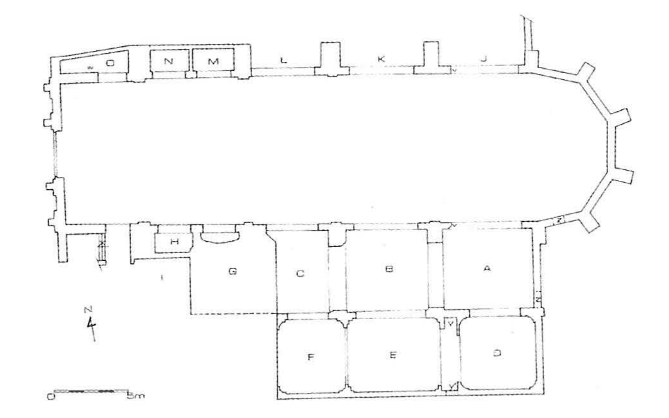


Figura 12
Philipppe Araguas, planta de San Martín de Belchite. Las capillas laterales cubiertas con bóvedas tabicadas son las indicadas con las letras A, B y C

transformación aparezca en una arquitectura mudéjar, es decir en una arquitectura donde se otorga a las cuadrillas de obreros de origen musulmán la responsabilidad de la edificación.

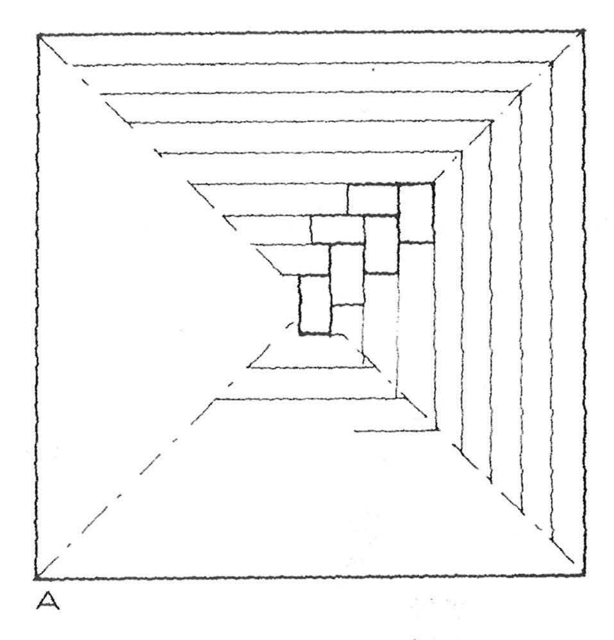
La fecha de la estructura de las capillas, así como la de la iglesia, parecen inciertas. El autor parece dispuesto a considerar las dos capillas cubiertas con bóveda de arista contemporáneas de la edificación principal y fechada en los últimos años del siglo XIV y los primeros del XV.[119] Como veremos esta fecha se corresponde con la de otros importantes ejemplos catalanes sobre los que centraremos nuestra reflexión.

Las bóvedas de hormigón del gótico catalán

En las iglesias góticas catalanas y levantinas[120] y por tanto en toda la parte mediterránea de España, el desarrollo de la arquitectura gótica —que atravesó los Pirineos tras la guerra contra los albigenses— recobra una fuerte influencia de la tradición constructiva y espacial romana.[121] En este contexto geográfico también la construcción de las bóvedas nervadas, típicas de la arquitectura gótica, se diferenció sustancialmente de los cánones de la construcción en piedra que caracterizaba la estructura del periodo clásico francés.

El esquema estructural de una bóveda ojival francesa, tal y como la representa Viollet-le-Duc, confía la función portante principal a los arcos perpiaños, a los arcos formeros[122] y a los propiamente ojivales, o sea los diagonales. Sobre ellos se descargan los pesos de los plementos de bóveda que cierran los sectores de espacio delimitados por los arcos y los rellenos de los flancos en aglomerado, que generalmente alcanzan los 3/5 de la altura total de la bóveda. El relleno, en este caso, tiene la función de rigidizar la construcción en la zona donde es más probable la apertura de fisuras. Además, para garantizar una cierta homogeneidad del comportamiento estático de la restante porción de la bóveda, los constructores franceses solían extender una capa de mortero de cal sobre el trasdós de la bóveda.

El orden estructural así definido se confirma por los ejemplos conocidos de construcciones góticas en ruina. Se puede mencionar el ejemplo de la catedral de Soisson en el que se evidencia la función estática princi-



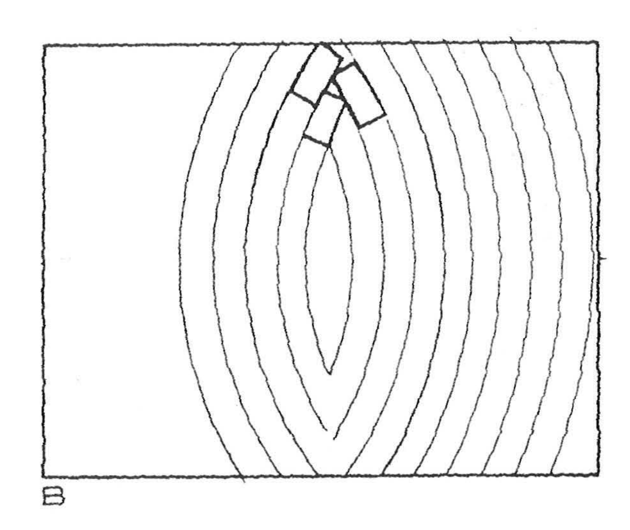


Figura 13
Philipe Araguas. Aparejos constructivos de las bóvedas de San Martín de Belchite. El aparejo señalado con la letra A pertenece a las capillas A y B de la figura 13, mientras que el aparejo B se corresponde con la capilla C

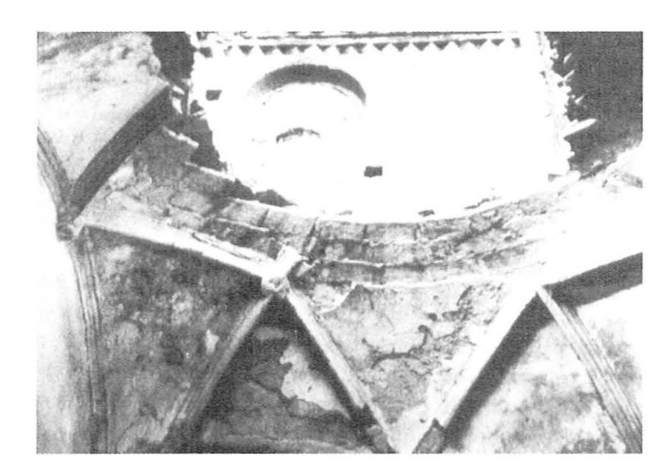


Figura 14
Bóveda de la capilla C

pal de las nervaduras. Como muestra la Figura 15 su permanencia *in situ* favorece los sectores próximos de bóveda, mientras que su caída provoca la consiguiente ruina de los sillares pétreos de los plementos.

En las catedrales catalanas no se encuentra una organización similar. En ellas, como ha demostrado Bassegoda Nonell, la función portante no está claramente definida por el aparato constructivo. El análisis de algunos ejemplos de construcciones dañadas por acciones bélicas durante la Guerra Civil muestra como éstas se realizaron frecuentemente con una capa de relleno colocado por encima de la bóveda (Fig. 16).

Con el fin de aligerar el peso de este relleno, los constructores catalanes emplearon grandes cantidades de productos cerámicos, continuando así una práctica ya mostrada por los capataces de la Roma Imperial. La bóveda en piedra que permanecía adherida al mortero, además de hacer las veces de encofrado perdido para el vertido superior, también desempeñaba una función estática.

Esto evidencia el recelo con respecto al modelo francés que, evidentemente, no se comprende en su totalidad y del que los constructores catalanes rechazan la compleja concepción estática basada en múltiples sistemas de absorción de los empujes generados por las nervaduras.

Como ya había sucedido en el desarrollo de la arquitectura gótica de las regiones francesas, se puede suponer que la voluntad de optimizar el comportamiento estático de las estructuras sea el origen de este particular modelo de bóveda ojival catalana, que se puede considerar intermedia entre la bóveda medieval en piedra y la bóveda de hormigón romana. Es patente la voluntad de minimizar el empuje lateral de las bóvedas en piedra a través de la construcción de una cáscara monolítica, lo más rígida posible, pero también lo más ligera, de modo que se redujese el empuje sobre los muros laterales.

Con este propósito Bassegoda Nonell afirma:

> [...] en las catedrales catalanas, en vez de sobrecargar los muros y los pilares con el peso de las cubiertas de madera y tejas, se incrementó la resistencia de la bóveda con el hormigón, que puede llegar a producir un autentico monolito de mazacote aligerado sobre la bóveda de piedra, reduciendo al mínimo la inclinación de los empujes, aligerando consecuentemente el trabajo de los contrafuertes y arbotantes. La suprema esbeltez de los contrafuertes de Santa María del Mar en Barcelona quizá no fuera posible, si por encima de la bóveda de piedra no existiese el compacto hormigón de cal.[123]

Las funciones de los arcos se reducen a la de elementos de mejora estética de la delicada zona de la intersección de los cañones generadores de la arista. Esta función, ya destacada por Torres Balbás, aparece claramente en los ejemplos referidos por Bassegoda Nonell y contempla algunos casos de estructuras dañadas por ac-

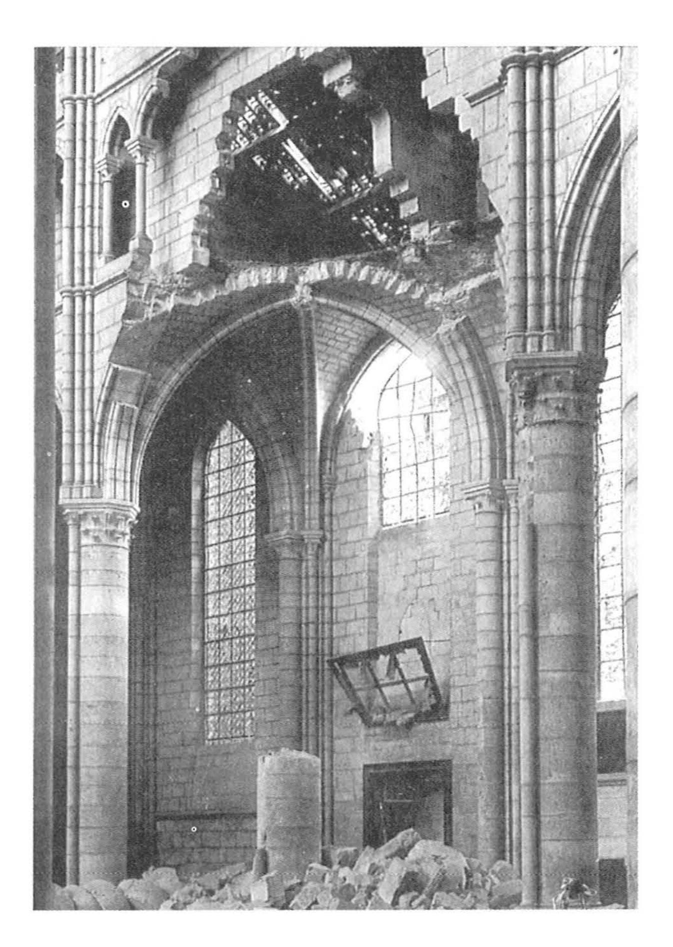


Figura 15
Catedral de Soisson. Colapso parcial de una bóveda de la nave lateral



Figura 16
Barcelona, Iglesia del Pino. Bóveda de la capilla del Santísimo. La caída del estrato de piedra ha dejado descubierta la masa de relleno superior

ciones bélicas. La caída de las nervaduras no ha significado la ruina de la bóveda superior ni ha comprometido su capacidad estructural.

Una demostración posterior de las diferentes funciones de las nervaduras góticas catalanas se muestra en las bóvedas de Santa María del Mar, espléndido ejemplo del gótico catalán. Después del incendio de 1379, se produjo una clara separación entre los sillares de los arcos y la estructura abovedada superior; la precaria condición estática de los arcos se eliminó con la inserción de cuñas de hierro en el interior del espacio generado entre la nervadura y la bóveda.

Este ejemplo alude a la particular sensibilidad mostrada por la cultura constructiva catalana de hacer propias, mejorándolas, algunas soluciones estructurales pertenecientes a experiencias constructivas precedentes.

La aparición de la técnica tabicada, que encontrará especialmente en las realizaciones góticas y tardo góticas un terreno de fértil desarrollo, constituye una ratificación —quizás la mejor demostración— de esta peculiar característica que pertenece no sólo al campo constructivo catalán, sino a toda la experiencia arquitectónica española.[124]

La sala capitular del monasterio de Pedralbes

Las consideraciones expuestas anteriormente permiten analizar con mayor atención la sala capitular del monasterio de Pedralbes, modelo admirable de la arquitectura medieval catalana, en la que la coexistencia de la técnica tabicada con las estructuras de la arquitectura gótica trae a la memoria el ejemplo mudéjar de San Martín de Belchite.

El Monasterio de Santa María de Pedralbes fue erigido en el pueblo llamado Sarriá, en los alrededores de Barcelona, por voluntad del rey Jaime II de Aragón (1268–1327) y de su esposa, la reina Elisenda (1292–1364). A la muerte del rey, la consorte escogió Pedralbes como el lugar donde retirarse, lo que determinó la importancia de este monasterio, que se considera como un verdadero palacio real. En 1326, una cuñada de la reina dejó en testamento 12.000 sueldos para la construcción de una sala capitular digna del rango al que había llegado el conjunto monástico; pero no se inició hasta 1418, año en el que se puso la primera piedra.

Fue encargado de supervisar los trabajos de construcción el arquitecto Gullermo Abiell, barcelonés, conocido como Gullamins, una de las más relevantes figuras del panorama arquitectónico de la Cataluña del siglo XV.

La sala capitular es una construcción de planta cuadrada con los lados de 11,5 metros y se compone de tres niveles (Fig. 17).

El primer nivel, enterrado, presenta un pilar central de piedra sobre el que se apoyan los cuatro arcos muy rebajados, también de piedra tallada, unidos a las cuatro esquinas de los muros perimetrales. Cuatro porciones triangulares de bóveda de cañón cierran los espacios dejados por los cuatro arcos de piedra. Están realizadas con bóvedas tabicadas muy rebajadas que tienen dos capas de ladrillos puestos de plano. Por encima de estas bóvedas se levantan unos muretes sobre los que descargan bovedillas rebajadas que sostienen el plano del suelo del nivel superior; este recurso permitió eliminar totalmente el relleno de las bóvedas principales del primer nivel, evitando así una sobrecarga de los arcos (Fig. 18).

El segundo nivel está ocupado por la sala del Capítulo donde los monjes se reunían para escuchar la lectura de la Regla y para discutir las diversas cuestiones del monasterio.

Bassegoda Nonell[125] destaca cómo la organización de los alzados corresponde plenamente al modelo gótico. El paramento exterior está realizado con piedras escuadradas vistas mientras que el interior está enlucido de blanco y las juntas que aparecen están pintadas simulando un aparejo isodomo; entre estos dos paramentos se realizó una fábrica irregular de grava y mortero de cal que unía las dos paredes externas.

Desde cuatro pequeñas pilastras existentes en los ángulos de la sala parten otras tantas nervaduras de piedra trabajada que se unen en la clave central. Los plementos de las bóvedas construidos entre los arcos son de piedra en la parte más baja mientras que la parte restante, mucho más extensa, está realizada con bóvedas tabicadas de dos capas. El espesor total de esta bóveda de ladrillo, cuyas juntas están esmeradamente estucadas con yeso blanco, es de sólo 11 centímetros.

El tercer y último nivel es una terraza con una cubierta de madera que apoya sobre un pilar central de piedra colocado en correspondencia con la clave de la bóveda inferior; los cuatro faldones triangulares se apo-

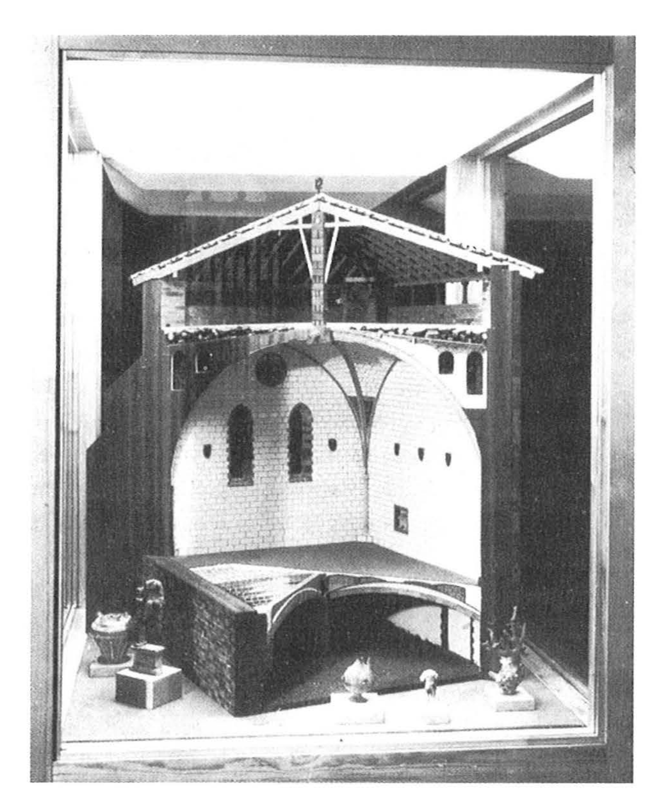


Figura 17
Modelo de la sala capitular del monasterio de Pedralbes (Barcelona) en la que se evidencian los tres niveles de la construcción. Se observa la estructura de la cubierta del volumen principal

yan a continuación sobre soportes colocados en los muros laterales.

Recuperamos aquí la presencia de aquellas características de optimización y de perfeccionamiento estructural peculiares de la experiencia constructiva medieval catalana. No es que Abiell en Pedralbes, a diferencia del ejemplo de Belchite, decida dejar vista su estructura tabicada dispuesta sobre una base estructural gótica. Lo que los constructores mudéjares de Belchite querían esconder parece ser, en cambio, motivo de orgullo para Gullamins, signo de su capacidad de obtener refinadas soluciones arquitectónicas con procedimientos constructivos muy simples.

La estructura de la bóveda de la sala capitular imita el modelo francés; en esto parece mucho más próxima a las realizaciones de la Ile de France que no a las otras construcciones góticas catalanas. En la bóveda de la sala del Capítulo de Pedralbes, la presencia de las primeras hiladas de piedra muestran la referencia al modelo clásico francés en que los sillares más cercanos a las impostas se colocaban en obra sin auxilio de cimbras, ya que la posición de los lechos de mortero resultaba inferior al ángulo de rozamiento estático característico de los morteros utilizados.[126]

Por encima de esta zona Abiell hizo construir la bóveda con elementos de cerámica, probablemente sin el auxilio de cimbras, alcanzando así una notable simplificación constructiva.

En general, en las bóvedas de las catedrales catalanas no se aprecia esta diferenciación de materiales que manifiesta una modificación del proceso constructivo. Creemos que esto deriva del hecho de que estas bóvedas fueron construidas encima de cimbras continuas con un notable aumento de los costes.

En mayo de 1977 Bassegoda Nonell, al tener que emprender algunos trabajos de restauración sobre la bóveda de la sala capitular, desmontó una parte del pavimento de la terraza superior. Según las experiencias precedentes, debajo de la pavimentación superior debería haber aparecido un grueso relleno de hormigón aligerado con la inserción de vasijas diversas. En efecto en el interior de un vertido de hormigón se encontraban diversos tipos de «jarros y ollas». Pero, inesperadamente, debajo se encontró un «tabicado»:[127] una invención estructural y constructiva de Guillermo Abiell (Fig. 19).

Con el fin de eliminar el vertido lateral sobre las bóvedas inferiores, el proyectista-constructor había dispuesto una serie de cuatro contrabóvedas apoyadas sobre muros levantados encima de las nervaduras. Estas bóvedas, extremadamente rebajadas, con sólo cincuenta centímetros de flecha, soportan la delgada capa de hormigón que ocupa el pequeño espacio dejado entre estas bóvedas y el pavimento superior.

La técnica constructiva empleada en la realización de estas contrabóvedas es otra prueba de la habilidad mostrada por el arquitecto barcelonés. Dada la exigua cubierta, que no permitía una ejecución sin apoyos, se utilizaron, sobre el trasdós de la bóveda inferior, unos puntales de madera sobre los que se colocó un entablado

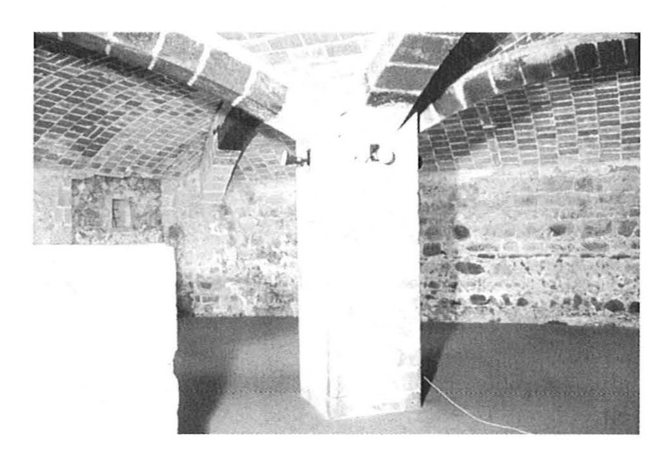


Figura 18
Imagen del piso semienterrado en el que se aprecia el pilar central y los arcos de piedra

discontinuo; sobre éste se colocó a continuación un estrato continuo de ladrillos puestos de plano y sin mortero. Después se construyó la bóveda tabicada de una sola capa, recubierta con un vertido de hormigón que además de servir del relleno necesario para la construcción del pavimento superior, constituye, con la estructura inferior colaboradora de una sola capa de ladrillo, el grosor portante efectivo.

La colocación de la capa de ladrillos dispuestos a junta seca permite la recuperación de la madera constituyente de la cimbra impidiendo al mortero de yeso de la bóveda superior adherirse al entablado. Para efectuar esta operación se practicaron unas aberturas, a manera de pasajes, en los muros levantados sobre las nervaduras, obteniendo así una posterior disminución de las cargas permanentes activas sobre la estructura inferior.[128]

Como ya se ha subrayado, al introducir los caracteres distintivos de la construcción gótica catalana, los admirables recursos de Abiell se dirigen a la reducción del empuje resultante de la construcción de la bóveda de piedra y, por tanto, a hacer más simple y económica la construcción de las estructuras abovedadas en general.[129]

En esta realización aparece perfectamente desarrollada la técnica tabicada y las cuadrillas de obreros encargadas de la construcción demostraron conocer completamente todas sus características.

Antes de esta fecha, y más concretamente entre 1407 y 1411, al mismo Abiell se le encargó la edificación del claustro del Hospital de Santa Cruz, en Barcelona. Ya en esta obra el maestro catalán utiliza, sobre una estructura de nervaduras góticas, la plementería tabicada, procediendo después a la ejecución del relleno superior según la técnica catalana. Abiell demuestra conocer ampliamente el sistema constructivo tabicado y esto induce a suponer que este bagaje técnico perteneciese ya a un patrimonio de conocimientos comunes a otros constructores. Una posterior confirmación se ofrece por el análisis de otra importante arquitectura medieval.

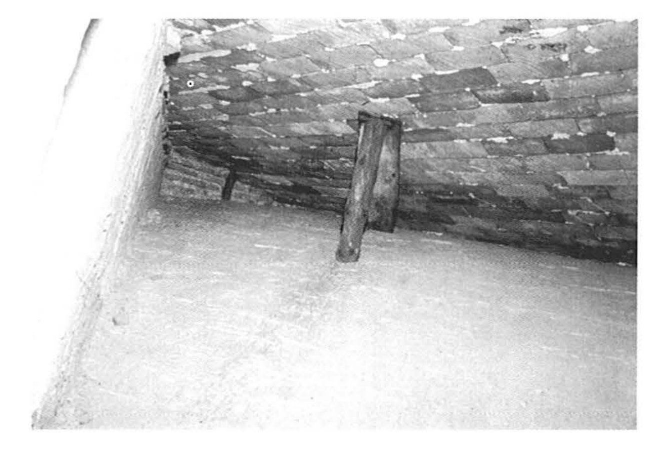


Figura 19
Espacio existente entre la bóveda principal y la contrabóveda. Los elementos de madera son las huellas del sistema constructivo ideado por Abiell para la realización de la contrabóveda

La tribuna del rey Martín el Humano

Los hechos ligados a la edificación de la tribuna del rey Martín I, el Humano, en la catedral barcelonesa permiten poner en evidencia cómo la técnica tabicada tenía un uso arraigado al inicio del siglo XV.

El hecho constructivo tiene su origen en la petición hecha por el rey al arquitecto de la catedral, que en aquel periodo era Arnau Bargués, de edificar una tribuna en la que los regentes pudiesen asistir a las funciones religiosas. La capilla se debía alcanzar fácilmente desde el palacio real adyacente y por esto pareció necesaria la construcción de un puente que salvase la calle de los Condes de Barcelona, la vía que separaba la catedral del palacio.

En el acto de la exposición del proyecto, la propuesta del arquitecto Bargués de cubrir la tribuna con una bóveda de piedra es desautorizada por el mismo rey, que impuso la construcción de una «volta de rajola». Exactamente el rey ordenó que ésta tuviese un espesor de tres ladrillos puestos de plano, «volta de tres raioles», que fuese flanqueada con un relleno aligerado y que fuese cubierta por una techumbre de madera con pendiente hacia la calle mencionada. El episodio se registra en una crónica de 1407 que constituye, todavía hoy, el testimonio directo más antiguo de la presencia de la técnica tabicada.[130]

La afirmación del rey Martín evidencia cómo esta técnica constructiva era conocida no sólo por los encargados de los trabajos. Todavía no queda claro por qué no se siguió el consejo del arquitecto Bargués, según el cual la bóveda de piedra garantizaba la resistencia necesaria frente a los frecuentes desplomes de ladrillos de la torre superior del reloj.

Una hipótesis estimulante podría ser que la iniciativa del rey revela la voluntad de elevar la técnica tabicada como construcción técnica nacional catalana. Ya Jean-Marie Pérouse de Montclos explicó cómo el estilo gótico fue asumido por los reyes franceses como el estilo representativo de su poder;[131] el *opus francigenum*, además de subrayar la pericia de los constructores franceses, fue también el vehículo a través del cual se expresó la supremacía política francesa. Por eso Enrique III de Inglaterra —cuyo modelo monárquico de referencia era San Luis— ordenó que la construcción de Westminster imitase las ya entonces famosas realizaciones del gótico francés. Análogamente el arzobispo francófilo Conrand de Hochstaden quiso que su catedral de Colonia se edificase a la manera francesa.[132]

No existen otros indicios para sostener que la carta del rey Martín de 1407 constituya un intento del regente aragonés de definir una práctica constructiva característica de Cataluña. Quizás en la misma dirección se mueve Abiell cuando decide dejar vista la bóveda de la sala del capitulo de Pedralbes construida tan brillantemente por él.

En el caso que esto responda efectivamente a una necesidad real de la dinastía aragonesa no se puede constatar que este intento surtiese el efecto deseado. Las bóvedas tabicadas continuaron durante mucho tiempo enluciéndose y escondiéndose a la vista, sustrayéndolas de todo valor expresivo. Como ya se ha señalado, la bóveda de la capilla del rey Martín fue ocultada por la construcción de un falso techo de yeso encargado a un árabe.

Hoy la bóveda del rey Martín no existe ya que fue demolida en 1880 durante algunos trabajos de transformación de la catedral. Bassegoda Nonell al analizar los contrafuertes entre los que fue construida la tribuna, ha encontrado las trazas de la bóveda, de la cubierta de madera que la protegía de la intemperie y del falso techo de yeso que la escondía a la vista (Fig. 20).

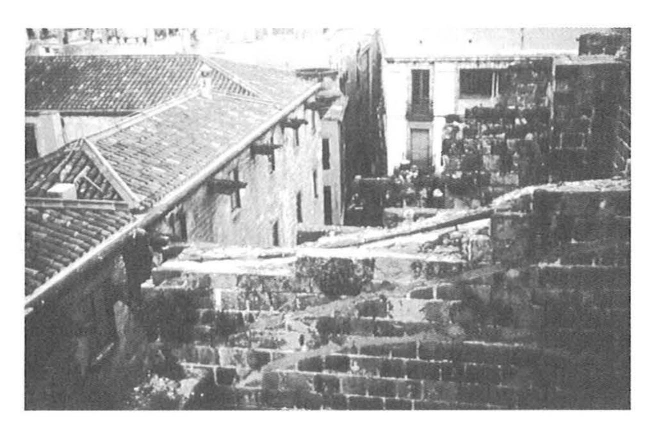


Figura 20
Catedral de Barcelona. Muro perteneciente a la Tribuna del Rey Martín en la cual se ven las trazas de la bóveda de ladrillo y del faldón inclinado que la protegía

La consolidación en la arquitectura de los siglos XVI y XVII

Muchos son los elementos que atestiguan el empleo extendido y reiterado de la técnica tabicada en toda la Península Ibérica entre los siglos XVI y XVII. En Cataluña esta técnica se convierte casi en una constante en la edificación de las iglesias tardo góticas y a continuación de las barrocas.

En un estudio del historiador Josep Madurell Marimón se muestran los contratos estipulados para la construcción de iglesias en la comarca del Maresme;[133] algunos de estos prueban la presencia de la técnica tabicada como procedimiento constructivo ampliamente utilizado en la edificación religiosa del periodo.

La construcción de iglesias en estilo tardo gótico continuó —en Cataluña como en el resto de España— hasta el siglo XVII, es decir, hasta cuando a ése no se prefiere un particular estilo de inspiración renacentista con detalles ornamentales barrocos. El cambio de las costumbres formales conllevó también cambios en el campo de la técnica constructiva para las estructuras abovedadas. Esto parece evidente en el estudio de los contratos publicados por Madurell.

Durante todo el siglo XVI se confirma la presencia de la bóveda nervada en la arquitectura religiosa. Los numerosos contratos referidos indican claramente cómo se construía con los arcos de piedra y los plementos de estructura tabicada. Para indicar la técnica tabicada los notarios del momento usaban diferentes acepciones: «volta de rajola ab guix»,[134] «volta de terra cuita de rajoles»,[135] «volta de rajola de pla y guix».[136]

Este tipo de bóveda constituía una evolución de la bóveda presente en las más antiguas iglesias góticas catalanas y que se ha examinado anteriormente. En ellas, recordémoslo, se daba gran importancia al relleno con hormigón aligerado que se vertía sobre las bóvedas de piedra o de estructura tabicada.

Estos ejemplos citados por Madurell nos muestran como durante el siglo XVI el relleno de las bóvedas va perdiendo lentamente su tradición funcional; en ellas no se hace ninguna mención acerca del suministro de vasos, cántaros u otros productos cerámicos a introducir en el hormigón para aligerarlo.[137] Por otra parte Bassegoda Nonell[138] sostiene que en las construcciones a las que atañe la investigación de Madurell, el relleno de las bóvedas se realiza con fábrica, por tanto con ladrillo y mortero de cal, y que sólo afecta a los flancos de la bóveda.

La transformación que sufre este relleno nos permite suponer que las cuadrillas de obreros españolas del siglo XVI ya habían experimentado ampliamente las resistencias y en general las características estáticas de la construcción tabicada. La constante presencia de la técnica tabicada en los contratos demuestra cómo no son sólo las cuadrillas de obreros las que aprecian esta cualidad, sino que ya se había convertido en un patrimonio de la comunidad. En efecto, las personalidades que rigen las comunidades parroquiales son las que prescriben el uso de la construcción tabicada en la redacción de los contratos, obligando así a los constructores a respetar su voluntad.

Lo que, por ejemplo, sucede en agosto de 1582 cuando autorizados representantes de la comunidad de Selva del Campo, una localidad no muy distante de Tarragona, redactaron un contrato con el arquitecto

Pere Blay para la reconstrucción de la destruida iglesia parroquial. En ese contrato —citado en el estudio de J. F. Ràfols[139] sobre Pere Blay, uno de los más importantes intérpretes del renacimiento catalán— aparece la descripción de cómo debían ser realizadas las diferentes estructuras abovedadas de la iglesia. En los diversos puntos donde aparece esta descripción siempre se hace referencia a la construcción con *rajola* para indicar cómo ya la técnica tabicada era ampliamente conocida:

> Itm. sobre dita cornice composita interior assentarà la cupula o media naranga feta de volta de rajola comuna y morter grossa de un larch de rajola [...]
> Itm. totes les capelles sacristies y sobre sacristies y aposentos sobre les capelles tant alt con baix y corredors sobre les capelles se faran voltes de rajola y morter de gruxa de un ample de rajola.
> [...] y la volta mayor de la Iglesia [...] serà de rajola y argamassa de grosseria de tres palms fete a lunetes, o formares y arestes [...][140]

El arquitecto, contraviniendo las indicaciones, realizó la bóveda principal en ladrillo puesto a sardinel. Esta técnica, por otra parte común en las iglesias renacentistas italianas, constituía un ruptura con la tradición local que provocó la viva protesta de los representantes de la comunidad. Estos designaron un grupo de peritos con el fin de que valorasen la consecuencias de la elección de Blay en relación con la aparición de algunas grietas. Estos sostuvieron que el mayor peso derivado de la adopción de las bóvedas con ladrillos radiales podía perjudicar la resistencia de las cimentaciones, que en parte eran las de la iglesia precedente. No se conocen posteriores detalles sobre la disputa, pero recientes restauraciones han confirmado que efectivamente la bóveda está realizada con ladrillos dispuestos en sentido radial.[141]

Las perplejidades que la obra de Pere Blay levantó muestran, vistas desde un ángulo distinto, cómo la técnica constructiva más difundida, a finales del siglo XVI, era precisamente la tabicada. Cincuenta años después del episodio de la iglesia de la Selva del Campo ésta aparecerá descrita en el tratado de Fray Lorenzo de San Nicolás, *Arte y Uso de Arquitectura,* donde ocupa una posición preferente. El diferente contexto geográfico en el que este tratado nace, el madrileño, confirma cómo la difusión de la técnica tabicada no se aprecia sólo en la región catalana,[142] sino que se estima en toda la península ibérica.

Con el definitivo abandono de la bóveda ojival en el siglo XVII y la aparición de las formas arquitectónicas renacentistas y barrocas asistimos a un posterior perfeccionamiento de la construcción tabicada en las bóvedas de los edificios religiosos. Si la presencia de las nervaduras de piedra constituía de todos modos —tanto para la bóveda gótica francesa como para su variante catalana— un factor de simplificación en la ejecución, ya que permitía una construcción más ágil de los plementos, la abolición de estos elementos constructivos obligará a los constructores a variar los procedimientos de ejecución.

Esto impulsa a los constructores del siglo XVII a perfeccionar las técnicas de construcción para obtener estructuras abovedadas de ejecución sencilla y rápida. Creemos que en esta dirección se movieron las realizaciones que llevaron a la aparición de la técnica tabicada en la forma en la que hoy es conocida.

En 1684 al arquitecto italiano Ercole Torelli se le encargó el proyecto de la iglesia de Santa María en Mataró. De la construcción se encargó el «mestre de cases» Benet Juli al que se le ordena construir toda la estructura abovedada, tanto la grande como la pequeña, en «obra cuita, [...], de tre gruixos de rajola senzilla acordades i enlluides de guix».[143] Cualquier referencia al relleno ha desaparecido y la bóveda tabicada se ha transformado en una construcción pura, muy ligera y estructuralmente resistente.

Notas

1. Sergio Poretti, «Presentazione», R. Gulli y G. Mochi, *Bovedas tabicadas. Architettura e costruzione*. Roma, 1995, 7.
2. Nikolaus Pevsner, *Breve historia de la arquitectura europea*, Madrid: Alianza Editorial, 1994.
3. Es bueno recordar que en este caso no se quiere establecer una cronología de las construcciones abovedadas altomedievales, sino más bien destacar cuándo estas estructuras alcanzaron por primera vez aquellos caracteres de perfección constructiva que les han permitido convertirse en una de las características fundamentales de lo que hoy definimos como «estilo románico».
4. Edoardo Benvenuto, Introducción a «Contributi italiani alla scienza delle costruzioni», en *Storia sociale e culturale d'Italia. La cultura filosofica e scientifica*. Tomo segundo de: *La storia delle scienze*, 877.
5. Jean-Marie Perouse de Montclos, *L'Architecture á la Française,* París, 1982, 85.
6. Es el caso, por ejemplo, de Philibert Delorme que no duda en presentarse como el creador de la estereotomía o «science du trai»; Véase J. M. Perouse de Montclos, *L'Architecture a la Française,* 86.
7. Guarino Guarini, *L'Architettura civile*, Milán, 1968, 286. Reimpresión facsímil, con introducción de Nino Carboneri.
8. J. M. Perouse de Montclos, *L'Architecture a la Française,* 93.
9. Parece oportuno recordar cómo la estereotomía tiene por objeto el estudio de la solución óptima —ya sea estática como constructiva además de la estética— del problema originado por la necesidad de cubrir un vano de forma

cualquiera mediante la realización de bóvedas de piedra. Tal material, a diferencia del ladrillo, tenía la ventaja de permitir, mediante el corte definido y preciso, la producción de sillares con las formas y dimensiones requeridas. Por consiguiente, eran necesarios instrumentos de estudio y cálculo con los que poder determinar, correcta y unívocamente, tales formas y dimensiones a fin de que esas pudiesen ser comunicadas a los obreros destinados a la construcción. Naturalmente los instrumentos idóneos a tal fin se crearon en particular sobre bases matemáticas y geométricas. Emblema de la capacidad argumentadora de los intelectuales que lograban determinar una solución a un problema constructivo existente, rápidamente la construcción en piedra hecha mediante la estereotomía se convertirá en sinónimo de construcción correcta, solución óptima cuya solidez y resistencia a las cargas aplicadas estaba implícitamente comprobada en cuanto estructura racionalmente obtenida de una «seule pièce».

10. Benvenuto vuelve a recoger esta crítica expuesta ya en su momento por Pérouse de Montclos, asimismo agrega a su juicio la obra de Jean Chéreau: «[...] también en estos casos, sin embargo, las explicaciones son confusas y casi incomprensibles» y aproxima el *Premier tome* más al *Buchlein* di Roriczer que a los tratadistas franceses del siglo XVII.
    Jean Chéreau, *Livre d'architecture*, manuscrito realizado entre 1567 y 1574.
11. Mathurin Jousse, *Le Secret d'architecture découvant fidèlment les traits géométriques, couppes et dérobemens nécessaires dans les batiments,* La Flèche, 1642
12. Girard Desargues, *Brouillon project d'exemples d'une manière universelle ... touchant la pratique du trait à preuve la coupe des pierres*, 1640
13. François Derand, *L'architecture des voutes*, 1643.
14. J. M. Perouse de Montclos, *L'Architecture a la Française,* 98.
15. Jean Baptiste de La Rue, *Traité de la coupe des pierres*, 1728.
16. Como se prueba con las numerosas reediciones que se sucedieron hasta 1858.
17. Pérouse de Montclos da un juicio categórico: «Il comprend trois gros volumes, bien faits pour décourager la curiosité d'un historien de l'architecture». Véase J. M. Perouse de Montclos, *L'Architecture a la Française,* 101.
18. La revisión teórica efectuada por los primeros racionalistas franceses entrañó la entrada en crisis de las ideas de las que se había hecho portavoz la tratadística renacentista. Fue Claude Perrault (1613–1688) el primero en formular una nueva concepción de la belleza en arquitectura, definiendo la naturaleza puramente arbitraria de los ordenes clásicos al no considerarlos necesariamente en relación con un orden divino o universal. Véase: Luigi Ramazzotti, *L'Edilizia e la Regola*, Roma, 1984, 21–42: «Le radici razionaliste della manualistica francese».
19. La obra de Fray Lorenzo está apenas valorada por los historiadores. Creemos que esto deriva del hecho de que sus publicaciones salen a la luz en un momento difícil para la cultura arquitectónica española, que había iniciado una marcada dependencia del ambiente cultural francés.
20. Véase a este respecto, José Luis González Moreno-Navarro, *El legado oculto de Vitruvio*, Madrid, 1983, 89.
21. Fray Lorenzo de San Nicolas: *Arte y Uso de Arquitectura*, Valencia, 1633 (aquí y en lo siguiente se entiende utilizada la edición de 1796, reimpresa en facsímil en Zaragoza en 1989), Primera parte, página IV descripción de los contenidos; extraído de J. L. González Moreno-Navarro, *El legado oculto de Vitruvio*, 89.
22. Fray Lorenzo de San Nicolás, *Arte y uso,* 124.
23. Según Juan Bassegoda Nonell, la obra de Juan de Torija, publicada en Madrid en 1661 con el título *Breve tratado de todo genero de bobedas*, no sería otra que la obra de Vandelvira de la que Torija se apropió indebidamente. La acusación fue expuesta por Fray Lorenzo de San Nicolás, del que Torija era antagonista en la corte madrileña. La cuestión es analizada con más detalle por Geneviève Barbé-Coquelin de Lisle, iluminando la conflictiva relación entre los dos arquitectos en el difícil momento histórico en el que trabajan. Para una mayor profundización se aconseja consultar, Juan Bassegoda Nonell, *La cerámica popular en la arquitectura gótica*, Barcelona, 1977, 8, y Juan de Torija, *Breve tratado de todo genero de bobedas,* a cargo de Geneviève Barbé-Coquelin de Lisle, Madrid, 1981, 11–19.
24. J. de Torija, *Breve tratado,* 13.
25. Este aspecto, de fundamental importancia para nuestro estudio, será discutido con mayor profundidad a continuación.
26. A tal fin véase J. L. González Moreno-Navarro, *El legado oculto de Vitruvio*, 89–96.
27. G. Barbé-Coquelin de Lisle, en J. De Torija, *Breve Tratado,* 13.
28. Precisamente del capítulo XLVII al LV, desde la página 124 a la 143.
29. Según algunos autorizados autores españoles, los primeros ejemplos de estructuras construidas con la técnica «tabicada» se encuentran en las bóvedas de algunas iglesias góticas catalanas. Véase Joaquim Bassegoda i Amigò, «Transiciò de les voltes de pedra a les de maò de pla en les eglesies de Catalunya», *Memories de l'Academie de Ciencie i Arts de Barcelona*, 25, nº 15, Barcelona (1936).
30. Éstas son: 1.- «canon de bóveda»: bóveda de cañón; 2.- «media naranja»: cúpula hemiesférica; 3.- «capilla baida»: bóveda vaída; 4.- «capilla esquilfada»: bóveda esquifada; 5.- «capilla por arista»: bóveda de arista. Véase Fray Lorenzo de San Nicolás, *Arte y uso,* 124.
31. Véase Fray Lorenzo de San Nicolás, *Arte y uso*, 124.
32. Para Fray Lorenzo estos son: 1.- «yeso tabicado» o sea, «rasillas» unidas con yeso y colocadas de plano; se trata indudablemente de la estructura tabicada; 2.- «rosca de ladrillo» es decir, ladrillo colocado de costado o a sardinel en una o más filas superpuestas; 3.- «pietra picada» esto es, piedra tallada cuya técnica constructiva se denomina «cantería» o «de corte de piedras».
33. En relación con esto véase el ensayo de Manfredo Tafuri: «La norma e il programma: il Vitruvio di Daniele Barbaro» en Vitruvio: *I Dieci Libri dell'Architettura Tradotti e commentati da Daniele Barbaro* (1567), Milán, 1987, XIX.

34. A propósito de esto, véase la introducción de Geneviève Barbé-Coquelin De Lisle, en J. de Torija, *Breve tratado*.
35. J. de Torija, *Breve Tratado*, 18.
36. J. L. González Moreno-Navarro, *El legado oculto de Vitruvio*, 148.
37. El tema está tratado extensamente más adelante.
38. J. L. González Moreno-Navarro, *El legado oculto de Vitruvio*, 148.
39. Luigi Ramazzotti, *L'Edilizia e la Regola*, Roma, 1984, 31.
40. El duque de Belleisle utilizó por primera vez la técnica tabicada en el corazón de Francia con la intención de construir diversos edificios empleando cuadrillas de obreros procedentes de Perpignan, capital del Rosellón. Véase Turpin Bannister, «The Rousillon Vault, the apotheosis of a folk construction», *Journal of the Society of Architectual Historians*, 27, nº 3 (octubre, 1968).
41. Véase, además, cómo en ambos textos, el de Guastavino y el de d'Espie, se insiste en la capacidad resistente total de estas bóvedas contra los impactos de objetos bastante más pesados que la estructura misma, y a continuación véanse los consejos dados tanto por d'Espie como por Truñó Rusiñol para la exacta colocación y «enyesado» de los ladrillos.
42. Pierre Patte: *Memories sur les objets les plus importants de l'architecture*, París, 1769.
43. El profundo conocimiento de los detalles constructivos y de los modos de ejecución hace suponer que Patte había tenido contactos con los constructores catalanes o del Rosellón.
44. L. Ramazzotti, *L'Edilizia e la Regola*, 36.
45. Benito Bails, *Elementos de Matemáticas. Tomo IX que trata de la Arquitectura Civil*, Madrid, 1769.
46. Josep Renart Closes, *Quincenarios*, manuscrito conservado en la Biblioteca de Catalunya. El título deriva de la periodicidad con la que el autor enviaba los textos al hijo destinado en el frente.
47. Es el caso, por ejemplo, de la construcción en piedra de las bóvedas de arista referida en las páginas 27 y 28. De tales bóvedas Renart dice: «se forman de dos cañones que se cortan, resultando en sus intradós ángulos salientes, llamadas por arista; pocas instrucciones prácticas se me ofrece dar, por suponer instruidos a mis lectores en su mecanismo, bien se les ofrezcan construir tabicadas, bien de rosca».
48. En relación con esto véase J. Claudel y L. Laroque, *Pratique de l'art de construire*, París, 1850 (La última edición a cargo de L. A. Barré se publica todavía en París en 1899).
49. En el prólogo de la quinta edición del manual *Pratique de l'art de construire* los autores señalan las finalidades del trabajo: «expone, del modo más simple posible, las reglas para establecer las dimensiones de los muros, los métodos de estimación, los índices de buena o mala calidad de los materiales, los medios para la puesta en obra [...]. Los ingenieros y los arquitectos podrán encontrar [...] todos los elementos necesarios para conocer bien sus proyectos y para controlar la ejecución de los trabajos, los empresarios y sus encargados extraerán los conocimientos para hacer una buena elección de los materiales, organizar convenientemente el trabajo entre las cuadrillas de la obra, en fin los capataces encontraran de modo detallado, las reglas a las que deberán atenerse para una buena ejecución de los diferentes trabajos que se les pueden encargar». Véase L. Ramazzotti, *L'Edilizia e la Regola*, 122.
50. Se trata de M. Fornés y Gurrea, *El arte de edificar*, lámina VIII, fig.14.
51. José Albarrán, *Bóvedas de ladrillo que se ejecutan sin cimbra*. Madrid, 1985.
52. En relación con esto véase: «Evolución y permanencia de la técnica tabicada en la arquitectura histórica española» dedicado a las realizaciones de los hispanomusulmanes. R. Gulli, G. Mochi: *Bóvedas tabicadas. Architettura e construzione*, Roma, 1995, 133 y ss.
53. Pedro Campo-Redondo, *Extracto de las lecciones de Mecánica y Construcción dadas por primera vez en lo segundo año de la carrera de Maestro de Obras [...]*, Madrid, 1854.
54. Domingo Sugrañés, *Tratado completo y teórico de arquitectura y construcción modernas*, Barcelona (sin fecha, posiblemente de 1916).
55. Con esta definición se indican algunos tratados aparecidos en Italia hacia el final del siglo XIX y redactados la mayoría de las veces por ingenieros. Se asemejan por algunos aspectos específicos: 1) los contenidos atienden exclusivamente al proceso constructivo; 2) el extraordinario desarrollo de la calidad gráfica de las tablas que acompañan al texto que, por primera vez, se arriesgan con el color. Serán las espléndidas láminas —que determinaron el éxito de estos tratados reimpresos hasta 1933— las que establezcan una relación entre los contenidos constructivos y los aspectos de otro modo ausentes en el texto.
A continuación se relacionan los cuatro primeros tratados de esta naturaleza:
Giuseppe Musso y Giuseppe Coperi, *Particolari di costruzioni murali e finimenti de fabbricati*. Turín, 1855.
Luigi Cattaneo, *L'arte muratoria*. Milán, 1889
Carlo Formenti, *La pratica del fabbricare*. Milán, 1893
G. Misuraca y M.A. Boldi, *L'arte moderna del fabbricare*. Milán (¿1900?).
56. Según González (*El legado oculto de Vitruvio,* 249) esta tabla está copiada de un artículo de Jerónimo Martorell titulado «Estructuras de ladrillo y hiero atirantado en la arquitectura moderna catalana», aparecido en el Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña en 1910. En realidad en el interior del artículo no aparece ningún dibujo que pudiese haber copiado Sugrañés aunque lo que si están son imágenes fotográficas de las principales realizaciones industriales de la época en las que se usan las bóvedas tabicadas atirantadas.
57. Véase a este propósito el apartado siguiente: «Especificidad del sistema constructivo tabicado y de los modelos de explicación».
58. Véase Ricardo Gulli: *L'esperienza architettonica e costruttiva del Movimento Modernista catalano,* Ancona, 1994.
59. Sólo en 1950 un profundo conocedor de esta técnica, el

arquitecto Ángel Truñó Rusiñol, confeccionó un texto mecanografiado que todavía hoy permanece como el texto más completo sobre la construcción tabicada. En él, el autor recoge el conocimiento constructivo ilustrando con diversos ejemplos las múltiples potencialidades propias de esta técnica. El sistema de nociones y sugerencias que enriquecen el texto se apoya en la vasta experiencia de constructor y restaurador del autor. Sin embargo la obra jamás se ha publicado; hoy se puede consultar en la biblioteca del Colegio de Arquitectos de Barcelona donde se conserva el texto mecanografiado original.

60. George R. Collins, «The Transfer of Thin Masonry Vaulting from Spain to America», *Journal of Architectural Historians*, 27, nº 3 (Octubre 1968): 176–201.
61. Nicolò Mastrurzo, «Il complesso palaziale di Shalmanassar a Nimrud», *Materiali da construzione e tecniche edili antiche*, Florencia, 1991. Los arqueólogos ya están de acuerdo en considerar como las más antiguas las bóvedas de sillares radiales egipcias y mesopotámicas del cuarto milenio a.C., mientras que se atribuye una fecha posterior a las bóvedas de arcos inclinados que aparecen en las regiones del Oriente Próximo en el tercer milenio a.C. Véase G. Van Beek, «Archi e volte nell'antico Vicino Oriente», *Le Scienze*, 87. Edición italiana de la revista *Scientific American*.
62. Rafael Guastavino Moreno, *Cohesive Construction*, 23–25.
63. G. T. Rivoira, *Architettura romana. Costruzione e statica nell'età imperiale*. Milán 1921, 36–37.
64. A. Choisy, *L'art de batir chez les Romains*. París 1873 [traducción española: *El arte de construir en Roma*. Madrid: Instituto Juan de Herrera/ CEHOPU, 1999]; G. T. Rovira, *Architettura romana*, 18; G. Lugli, *La tecnica edilizia romana*. Roma 1957, 668–669; J. Bassegoda Nonell, *La cerámica popular en la arquitectura gótica*. Barcelona, 1987, 29–31.
65. G. Lugli, *La tecnica edilizia romana*, 669.
66. En la zona meridional de Portugal, en el territorio de la provincia del Alentejo, la construcción abovedada con elementos dispuestos de plano se conoce con el nombre de adobada alentejana, término de clara derivación árabe. Éstas pueden tener una sola capa (simple) o dos capas (forrada) de las que la primera está siempre unida con yeso. En el Rosellón se tiene noticia de bóvedas construidas con una capa de ladrillos dispuestos de plano desde el siglo XIV. De este periodo destaca el dormitorio del convento franciscano de Perpignan, capital del Rosellón, donde sesenta celdas tenían una cubierta realizada con esta técnica. En los siglos XVII y XVIII la construcción de bóvedas llamadas Rosellón, comenzó a difundirse por toda Francia partiendo del Languedoc. En el Languedoc, en Toulouse, el Conde d'Espie realizó la cubierta de su propia casa utilizando esta técnica constructiva que se hará famosa a continuación por su célebre texto. Véase Joan Bergós, *Tabicados huecos*, Barcelona, 1965, 15.
67. G. Collins, «The transfer of thin masonry vaulting», 183.
68. J. Bassegoda, *La cerámica popular*, 57.
69. Como ejemplo véanse las bóvedas de la iglesia abacial de St. Germain en Auxerre que data del siglo XII y los muros de Saint Eliphe de Rampillon. Véase Robert Kimpel Dieter-Suckale, *Die gotische Architektur in Frankreich 1130–1270*, Munich, 1985, 467; 19. En algunas construcciones del gótico tardío español se asiste a la unificación de las dimensiones de los sillares de piedra de los muros con los de las bóvedas. Donde estas últimas se realizaron sin la presencia de nervaduras, este artificio contribuye a la creación de un ambiente en el que el exacerbado y continuo subrayado de la división de las piezas crea particulares sensaciones espaciales. En este caso el espacio interno parece obtenido por substracción de material de una masa construida de manera homogénea con sillares de dimensiones iguales. En relación con esto véase el Convento de Santo Domingo, capillas de los Reyes en J. M. Pérouse De Montclos, *L'architecture a la française*, 210–211.
70. Véase Josep Goday, «Estudi històric i metòdes de calcùl de les voltes de maò de pla», *Acta de la Sessiò Pùblica. Academia catalana de belles arts de Sant Jordi* (23 de abril de 1934): 23–24.
71. El que escribe ha constatado personalmente su presencia tanto en arquitectura de la primera parte del siglo XVI, como en arquitectura medieval tardía en Macerata y en el Fermano.
72. Guarino Guarini, *Architettura civile*, 286–287.
73. De no olvidar como propia la técnica tabicada viene un elemento caracterizante de la arquitectura catalana de los siglos XVIII y XIX. Véase R. Gulli, *L'esperienza architettonica e construttiva*, 87–107.
74. En el texto que sigue, donde no venga especificado de otra manera, se hará siempre referencia a bóvedas de cañón cilíndricas con generatrices horizontales.
75. Las bóvedas mesopotámicas más antiguas de arcos inclinados se encuentran en Tell al Rimah.
76. A. Gorbea, «La torre nazarí de Romilla. Análisis de una técnica constructiva», *Materiali da construzione e tecniche edili antiche* (Florencia, 1991):19.
77. Ibídem.
78. Algunos ejemplos tardíos de arquitectura antigua hallados en el norte de África y Sicilia demuestran el uso de otro sistema para disminuir el cimbrado en las bóvedas con núcleo de argamasa. Contemplaban la construcción de un encofrado perdido realizado con vasos y tubos de terracota. De esta técnica parece derivar las perfeccionadas construcciones de tubos de barro cocido característicos de la arquitectura de Rávena. Entre éstas recordemos la cúpula del Baptisterio Neoniano y la de San Vital donde la estructura de tubos de barro cocido tomados con yeso constituyen la única capa portante. Al disfrutar de una disposición concéntrica de las hileras, este sistema constructivo permitía la ejecución sin ningún medio auxiliar de apoyo.
79. G. Lugli, *La tecnica edilicia romana*, 681; J. Bassegoda Nonell, *La cerámica popular*, 30. En este texto, el autor refiere también la opinión de Cozzo, que niega cualquier capacidad portante a la capa de ladrillo, sosteniendo que, en ningún caso, los ladrillos aparecen ligados al mortero, ya que estos se fijaban a la hilada superior a través de clavos. Como ejemplo se cita el caso de la cubierta del

sepulcro conocido como Monte del Grano, en la Tuscolana, y perteneciente a la época de los Severos.

80. G. T. Rivoira, *Architettura romana,* 117.
81. En muy pocas ocasiones se encuentran casos de dos capas.
82. G. R. Collins sostiene, sin embargo, que esto no se puede afirmar, faltando ejemplos que atestigüen la transición desde el sistema romano a los siguientes, como precisamente es el caso del sistema de las bóvedas de una hoja italianas a las que Rivoira se refiere. Véase «The Transfer of the thin masonry vaulting», 188.
   En repuesta a la crítica de Collins se puede decir que en diversas arquitecturas alto medievales aparece la utilización de la técnica de arcos con los ladrillos dispuestos de plano y más estudios sobre la construcción de esas épocas podrían revelar la presencia también en estructuras abovedadas. El arco con ladrillos dispuestos de plano aparece en las aberturas de diversos monumentos de Rávena y románicos. El autor ha registrado personalmente la presencia en algunas capillas de la iglesia de San Claudio en Chienti (de los siglos IX–X) en el ayuntamiento de Corridonia (MC) y en edificios medievales del ayuntamiento de Loro Ciuffenna (AR) donde a los arcos en ladrillos de plano les hacen de encofrado perdido los ladrillos radiales.
83. Rafael Guastavino Moreno, en *Cohesive construction,* 45, escribe: «Podemos dividir la construcción en dos tipos: 1) La «construcción mecánica» o por gravedad. 2) La «construcción cohesiva» o construcción por asimilación. La primera se basa en la resistencia de cualquier sólido a la acción de la gravedad cuando es contrarrestado por otro sólido. De este conjunto de fuerzas, más o menos opuestas entre sí, resulta el equilibrio de la masa total, sin tener en cuenta el poder cohesivo del material existente entre los sólidos. La segunda tiene por fundamento las propiedades de cohesión y asimilación de distintos materiales que, por una transformación más o menos rápida, imitan el proceso de formación de conglomerantes en la Naturaleza».
84. El monolitismo de estas bóvedas era tal que permitía la apertura de orificios en la parte superior o clave aunque este término no tiene sentido en el contexto que estamos tratando. Esto hace posible la realización de amplias cubriciones abovedadas en edificios industriales donde la búsqueda de iluminación difusa y cenital se resuelve con la construcción de estructuras tabicadas perforadas.
85. Charles Agustin Coulomb, *Essai sur une application de maximis et minimis à quelques problèmes de statique, relatifs à l'Architecture*, París, 1776. Citado en Edoardo Benevenuto, *La Scienza delle Construzioni ed il suo sviluppo storico*, Florencia, 1981, 297
86. A este propósito Guastavino escribe: «Las estructuras construidas por el "sistema por gravedad" pueden desmontarse en cualquier momento. Así, la piedra o el ladrillo que ayer formaba parte de un templo o monumento dedicado a la memoria de un héroe puede formar parte mañana de los muros de un establo. Por el contrario, como no se pueden reutilizar los elementos de la "construcción cohesiva" en los edificios modernos, sus ruinas inspiran respeto y veneración y sólo la Naturaleza, con su lento pero seguro trabajo de desintegración, puede tomar el material de este tipo de construcción para su inmenso y eterno laboratorio». Véase R. Guastavino Moreno, *Cohesive construction,* 46.
87. R. Guastavino Moreno, *Cohesive construction,* 49.
88. De este modo en el texto de Guastavino.
89. En este sentido el edificio paradigmático es la escuela de la Sagrada Familia construida enteramente con superficies realizadas con la técnica tabicada. Véase Riccardo Gulli, *L'esperienza architettonica e costruttiva,* 104–107.
90. Juan Bergós Massò, *Gaudí e l'obra*, Barcelona, 1954.
91. Jaime Bayó Font, «La bóveda tabicada», *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña* (1910): 158.
92. Jaime Bayó Font, «La bóveda tabicada», 183–184.
93. Juan Bergós Massò, *Tabicados huecos*, 19.
94. En este sentido en las pruebas a flexión de arcos tabicados de tres capas, Bergós Massò destaca como la influencia de la cantidad de mortero interpuesto entre los ladrillos se refleja en mayor medida en la variación del módulo de elasticidad mientras que el valor de carga de rotura se queda prácticamente inalterado. J. Bergós Massò, *Tabicados huecos,* 36.
95. J. P. Adam, *L'arte di construire presso i romani*, Milán, 1984, 192.
96. Véase Piero Pozzati, *Teoria e Tecnica delle structure II*, Turín, 1980, 68–69.
97. Es oportuno recordar que, en general, con este término se indica el conjunto de las estructuras abovedadas en las que la presencia de una notable cantidad de mortero confiere a la construcción un comportamiento asimilable al ofrecido por una estructura monolítica.
98. Véase Giovanni Pelliccioni, *Le cupole romane. La stabilitá.* Roma, 1986; Guglielmo De Angelis D'ossat, *Realtá dell'architettura*, Roma, 1982, 53–77.
99. Aunque Collins ha mostrado algunas dudas, Bassegoda Nonell reconoce con su autoridad que los ejemplos realizados de bóvedas tabicadas aparecen en el periodo de la baja edad media en Cataluña. Guastavino ya había reconocido el periodo medieval como la época caracterizada por la difusión de esta construcción aunque en su estudio no se muestren ejemplos de arquitectura de ese periodo que confirmen tal afirmación. Véase J. Bassegoda Nonell, *La cerámica popular,* Prólogo, 4.
100. Bonaventura Bassegoda Mustè, «La bóveda catalana» *Algunos ensayos sobre la técnica edificatoria catalana,* Barcelona: Universidad Politécnica, 1974. Discurso leído en 1946 y publicado en 1947; y el siguiente, «Bóvedas catalanas», de 1952 y publicado en J. Bassegoda Nonell, *Aproximación a Gaudí*. Barcelona, 1992.
101. J. Bassegoda Nonell, *Aproximación a Gaudí*. Barcelona, 1992, 116.
102. J. Bergós, *Tabicados huecos*. Barcelona, 1965, 8.
103. Adolfo Florensa, «Guarini e il mondo islamico» *Guarino Guarini e l'internazionalitá del Barocco*, en *Atti del convegno internazionale promosso dall'Academia delle Scienze di Torino (30 septiembre – 5 octubre 1968)*, 1, Turín (1970): 643.
104. El tema ya se ha discutido en el apartado precedente.
105. Para un conocimiento básico de la arquitectura hispano

musulmana véase el texto de John D. Hoag, *Architettura islamica*, Milán, 1989, 35–64. En él es posible encontrar un pequeño encuadre histórico de las diferentes fases de la conquista de España y de los diversos regiones que las dinastías crearon.

106. Leopoldo Torres Balbás, «Bóvedas caladas hispanomusulmanas», en *Crónica Arqueológica de la España Musulmana*, 30, 104.

107. En estas construcciones se debió inspirar Guarini para la edificación de sus admirables bóvedas de San Lorenzo o de la capilla de la Sindone, ambas en Turín. El arquitecto de Módena pudo conocer la arquitectura árabe en sus viajes a España y a Sicilia, lugar éste último donde, sin embargo, hoy no queda traza de cúpulas construidas con el sistema de arcos entrecruzados. En tiempos recientes este sistema se ha usado para la construcción de algunas cúpulas por el arquitecto madrileño Luis Moya Blanco en diferentes proyectos, entre los que está el Museo de América en la Ciudad Universitaria de la capital española.

108. L. Torres Balbás, «Bóvedas caladas hispanomusulmanas», 99.

109. A. Florensa, «Guarini e il mondo islamico», 642.

110. Ibídem, 641.

111. Además de los ejemplos ya señalados de Tlemcen y Tara, esta última data del periodo siguiente al almorávide, esto es, el periodo almohade (siglos XII–XIII), Torres Balbás cita otra cúpula con nervaduras construidas con ladrillos puestos de plano y situada en la inmediata vecindad del famoso Patio de los Leones del palacio de la Alhambra en Granada fechada en el siglo XIV y perteneciente a la dinastía nazarí. Véase L. Torres Balbás, «Las bóvedas gallonadas de la Alhambra» en *Crónica Arqueológica de la España Musulmana*, 34.

112. G. M. Borrás Gualis, «A propósito de la «arquitectura de ladrillo y arquitectura mudéjar» *Artigrama, revista del Departamento de Historia del Arte de la Universidad de Zaragoza,* 1987, 62.

113. Como evidencia del hecho que el adjetivo mudéjar definía no un estilo en sí, sino una tendencia, una variación de temas arquitectónicos ya definidos en ambientes cristianos, se recuerda cómo los historiadores del arte españoles hablan de románico-mudéjar y de gótico-mudéjar. De manera dual a la aparición de una arquitectura mudéjar, los historiadores han recogido la aparición de un estilo mozárabe, o sea de aquel particular estilo arquitectónico que aparece en algunos monumentos musulmanes y que es el producto de cuadrillas de obreros cristianos.

114. G. M. Borrás Gualis, «A propósito de la «arquitectura de ladrillo»», 30.

115. A comienzos del siglo XX, y siguiendo la estela de éxito que marcó el movimiento arquitectónico neo-mudejar —característico de la zona madrileña y que hacía del uso del ladrillo visto la característica fundamental—, durante un cierto periodo fue generalizada la costumbre de clasificar toda la arquitectura medieval española en ladrillo como arquitectura mudéjar. Los historiadores más atentos, como Torres Balbás, ya pusieron entonces de manifiesto cómo la arquitectura mudéjar utiliza tanto el ladrillo como la piedra, y ya se ha señalado la existencia de un tratado español dedicado a la carpintería mudéjar. Esta discusión historiográfica ha hecho nacer una reciente polémica entre dos agudos estudiosos: Philippe Araguas, criticando la tendencia a asociar la construcción en ladrillo con la intervención de cuadrillas de obreros mudéjares, subrayaba como en las fachadas de las iglesias mudéjares la utilización del ladrillo constituía una excepción y no se empleaba como paramento externo. Borrás Gualis, en el artículo citado más arriba, de manera oportuna subrayaba cómo muchos y autorizados historiadores siempre habían considerado la aproximación a la arquitectura mudéjar de forma menos simplista que la denunciada por Araguas. Véase Philippe Araguas, «Architecture de bricque e architecture mudéjar», *Melánges de la Casa de Velázquez*, 23 (1987), 173–200; Gonzalo M. Borrás Gualis, «A propósito de «arquitectura de ladrillo y arquitectura mudéjar»»», 25–34.

116. J. Bergós, *Tabicados huecos,* 8, nota 4.

117. Bóvedas de similar factura se encuentran también en la arquitectura popular siciliana y en muchas construcciones de la isla de Capri. Parece razonable suponer que esta técnica apareciese en estas zonas a continuación del asentamiento de población islámica en la alta edad media. En este punto no podemos dejar de recordar como en estas mismas zonas, o sea, en Sicilia y en Campania, se manifiesta plenamente desarrollada, en la arquitectura popular, la técnica tabicada como muestran los trabajos de investigación ya citados con anterioridad en las notas 14 y 15. Para la técnica de las bóvedas de piedra y yeso en Capri, véase: Roberto Pane, *Capri. Mura e volta*, Nápoles, 1965.

118. P. Araguas, «L'eglise de San Martin de Belchite» *Melanges de la casa de Velázquez*, 22, 1986, 85–109.

119. Araguas señala en el mismo texto la presencia de otra bóveda realizada con la técnica tabicada y presente en la iglesia de Belchite. Esta bóveda constituye la cubrición de la primera crujía de la nave y está realizada con una bóveda tabicada de dos capas de ladrillo. No se señala ninguna hipótesis sobre la fecha de esta intervención, pero la escasa importancia dada por el autor a esta bóveda parece indicar que pertenezca a una restauración posterior. En el caso contrario estaremos en presencia de un ejemplo completo, y no intermedio, realizado en el interior de una construcción gótica mudéjar.

120. J. Bassegoda Nonell, *La cerámica popular,* 60.

121. Para un mayor conocimiento de la arquitectura gótica catalana sobre todo en lo referente al campo constructivo, véase el trabajo de J. Bassegoda Nonell citado anteriormente: *La cerámica popular en la arquitectura gótica.*

122. Respectivamente con estos nombres se identifican los arcos que separan las crujías de la nave y los que separan unas naves de otras, fajones y formeros.

123. J. Bassegoda Nonell, *La cerámica popular,* 101.

124. Sobre la particular propensión de la cultura arquitectónica española hacia los aspectos constructivos nos hemos ya detenido en el primer epígrafe donde se analiza la principal obra del tratadista madrileño Fray Lorenzo de San Nicolás. Creemos que ésta deriva de las múltiples aportaciones de las que se ha beneficiado y de las que ha sabido tener en cuenta. Permaneciendo en el ám-

bito de la arquitectura gótica, un claro ejemplo de cuanto sostenemos es el de la catedral de Gerona. Los elementos decorativos son de escasa relevancia mientras que aparece claramente una especial atención a los aspectos constructivos en la realización de una de las más amplias naves de la arquitectura medieval europea (22,80 m). Estas bóvedas tan amplias no descargan sobre arbotantes ni cuentan con la colaboración conjunta de las bóvedas de las naves laterales ya que éstas no fueron construidas, a pesar de estar presentes en el proyecto original.

125. J. Bassegoda Nonell, *La cerámica popular*, 83.

126. Una reconstrucción eficaz de todo el proceso constructivo de la bóveda gótica y de cómo se perfecciona con el auxilio, por ejemplo, de cimbras deslizantes se encuentra en la voz «Construcción» del celebre *Dictionnaire raisonné...* de Viollet-le-Duc. La traducción italiana de los extractos está publicada con el título *L'Architettura ragionata* a cargo de Maria Antonietta Crippa. En esta obra la parte referente a esta particular fase constructiva destacada por nosotros se encuentra en las páginas 158-160.
[Existe traducción española: *La construcción medieval*. Madrid: Instituto Juan de Herrera/ CEHOPU, 1996];

127. Con este término se indica de manera general una estructura realizada en ladrillo dispuesto de plano según estratos superpuestos.

128. La reconstrucción de la edificación de esta obra es posible gracias a la recuperación in situ de algunos puntales y tablas pertenecientes al andamiaje provisional.

129. Para destacar esta característica de la arquitectura catalana queremos recordar como especialmente Abiell formó parte de la comisión llamada a decidir sobre el destino de la catedral de Gerona, entonces en construcción. La propuesta del arquitecto de la catedral, Guillermo Boffiy, de edificar una sola nave de aproximadamente 23 metros de luz atemorizó al consejo episcopal que consultó el tema a algunos ilustres técnicos. Abiell fue uno de los que sostuvieron la factibilidad técnica de la propuesta de Boffiy contribuyendo así al nacimiento de uno de los mejores ejemplos de la arquitectura medieval europea.

130. Véase J. Bassegoda Nonell, *El Noticiero Universal* (2 de junio de 1977).

131. J. M. Pérouse de Montclos, *L'Arquitecture a la francaise*, 28.

132. Ibídem, 29.

133. Josep M. Madurell Marimon, *L'Art antic al Maresme*, Mataró, 1970.

134. «Rajola», como ya se ha dicho, es el término catalán del castellano rasilla; «guix» es el término catalán para indicar el yeso. La cita procede del contrato para la edificación de la iglesia de San Iscle y Santa Victoria de Dosrius firmado por el «mestre de cases» Tomás Barça en mayo de 1526.

135. Contrato para la edificación de la iglesia de Santa María y San Nicolás en Calella firmado por Pere Suaris en 1539.

136. Contrato para la edificación de la iglesia de San Martín de Teia firmado por el «mestre de cases» Antoni Matheu en agosto de 1574.

137. De manera diferente, en los libros de pagos de las catedrales góticas estudiadas por Bassegoda Nonell, la adquisición de productos cerámicos para insertar en la bóvedas viene puntualmente registrado. Véase J. Bassegoda Nonell, *La cerámica popular*, 63–68.

138. J. Bassegoda Nonell, *La cerámica popular*, 94

139. Josep-Francesc Ràfols Fontanals, *Pere Blay i l'arquitectura del renaixement a Catalunya*, Associciò d'Arquitectes de Catalunya, 1934.

140. Josep-Francesc Ràfols Fontanals, *Pere Blay*, 36–39. El término catalán «morter» indica el mortero, mientras que argamasa indica el relleno de la bóveda. Bassegoda Nonell sostiene que «argamasa de grossaria» significa que este relleno se realizó de fábrica.

141. Esta estructura no es sin embargo la primera en ser ejecutada en Cataluña con este aparejo constructivo; un precedente lo constituyen las bóvedas del claustro de la Cartuja de Montalegre que data de los años 1423–1448. Véase J. Bassegoda Nonell, *La cerámica popular*, 96

142. Un notable ejemplo de arquitectura del siglo XVI en el que aparecen espléndidas estructuras realizadas con la técnica tabicada está en el Convento de San Benito de Alcántara en Extremadura.

143. Josep M. Madurell Marimon, *L'Art antic al Maresme*, 263.

El sistema Guastavino en su contexto: historia y difusión de un método de abovedamiento revolucionario

Dietrich Neumann

El origen del sistema de abovedamiento de Guastavino se remonta hasta tiempo de los romanos y de la España medieval. En el siglo XX además de en EEUU estaba ampliamente difundido por Cataluña, Cuba y Uruguay.

En el cambio de siglo la construcción en Estados Unidos estaba sufriendo drásticos y rápidos cambios. Una gran cantidad de nuevos materiales de construcción se estaban introduciendo en el mercado, y la fabricación y uso de los tradicionales estaba cambiando considerablemente. Como muchos otros, Louis Sullivan sentía que este desarrollo debía venir acompañado de un cambio en la cultura arquitectónica:

> Vitalizar los materiales de construcción, animarlos a través del pensamiento, la sensibilidad, dotarlos de valor y significado social... proporcionarles lo mejor que existe en las gentes, al igual que el ojo del poeta, que al mirar bajo la superficie de la vida ve lo mejor que hay en las personas —tal debe ser la función del arquitecto— pues entendido en estos términos el arquitecto es una clase de poeta, y su trabajo una forma de poesía utilizando el termino en un sentido amplio, incluyente y ajustado.[1]

Una de estas nuevas aplicaciones fue el sistema Guastavino, una técnica de abovedamiento que utilizaba finas piezas cerámicas para construir delgadas cáscaras de ladrillo. Trabajadores especializados las disponían formando bóvedas mediante un mortero de gran adherencia y fraguado rápido. No se requería cimbra. Este sistema había sido introducido en los Estados Unidos a principios del decenio de 1880 por un constructor catalán, Rafael Guastavino Moreno. Durante varias décadas gozó de un enorme éxito construyendo cúpulas y techos abovedados en más de mil edificios, la mayoría de ellos según los entonces preponderantes estilos historicistas. Al final las bóvedas de Guastavino desaparecieron en el mundo occidental en favor de las técnicas industrializadas de construcción durante los años 40 y 50 del siglo XX. Sin embargo sistemas similares continuaron floreciendo en otros países.

El sistema de abovedamiento de Guastavino es tan sólo una de las muchas variantes de un antiguo método de construcción mediterráneo cuyas raíces se remontan al tiempo de los romanos. Fue, y es todavía, uno de los métodos más sofisticados y elegantes de cubrir un espacio o abovedar una estancia. Emplea menos material y consume menos energía consiguiendo una estructura más barata, sencilla de ejecutar y mucho más ligera.[2] Su enorme estabilidad se debe a dos factores principales: a la transformación de ladrillo y mortero en una masa homogénea y monolítica capaz de asumir tanto tracciones como compresiones, y a la resistencia adicional que adquieren estas delgadas superficies curvadas —ya sean dobles o sencillas— al distribuir las cargas tanto a los lados como hacia abajo. Lo que es más importante, estas bóvedas producen empujes laterales mínimos. Esto permite aperturas en el cascarón y su seriación.

Dadas estas propiedades resulta asombroso el completo olvido en que ha caído en occidente la historia y la existencia de las bóvedas tabicadas de Guastavino. Esto puede ser resultado de una historia de la arquitectura moderna que primó el estilo y la forma frente a la estructura, el high-tech frente a soluciones tecnológicamente menos avanzadas y lo excepcional frente a lo vernáculo. Incluso después del artículo pionero de George Collins en los años 60 acerca del sistema de Guastavino, este no recibió la atención que merecía.[3] Sin embargo

---

Impreso y traducido, con autorización, del original: «The Guastavino System in Context: History and Dissemination of a Revolutionary Vaulting Method». *APT Bulletin* 30,4 (1999): 7–13. Traducción de Martín Navarro López.

recientemente ha habido una serie de publicaciones que han rastreado sus orígenes, su difusión y sus líneas de evolución.[4] Este articulo sitúa las bóvedas americanas de Guastavino en el contexto más amplio de la aplicación de técnicas similares en otras zonas del mundo y constituye la aportación más importante escrita hasta la fecha acerca de su historia.

Aunque Rafael Guastavino denominaba su sistema como construcción cohesiva o bóveda de panderete [«tindorel vault», en inglés], fuera de los EE.UU. esta técnica se denomina a menudo *voûte roussillon* o bóveda catalana en referencia a estas dos regiones pirenaicas del sur de Francia y norte de España.[5] Sin embargo hay abundantes muestras de su utilización en otras zonas geográficas por lo que el termino bóvedas tabicadas quizá sea mas apropiado.

Orígenes

En la antigua Roma parece haber existido precedentes de esta técnica de abovedamiento en ciertas construcciones con bóveda de cañón, que si bien no explotaron toda sus posibilidades, sí revelan por parte de los constructores romanos un deseo de minimizar el espesor de sus bóvedas de ladrillo y hormigón.[6] Documentos recientemente descubiertos demuestran que una técnica de bóvedas tabicadas más desarrollada se discutió y fue aplicada durante la baja Edad Media en España. En 1382 el arquitecto Pierre le Ceremonieux informaba al Rey Merino acerca de su trabajo en el palacio real de Valencia.[7]

La primera persona en analizar dicha técnica en un tratado arquitectónico parece haber sido el monje español Fray Lorenzo de San Nicolás que publicó su *Arte y Uso de Arquitectura* en Madrid en 1639.[8] A partir de entonces la técnica apareció explicada regularmente en manuales franceses debido a su buen comportamiento frente al fuego y a su buena calidad constructiva. Entre otros destacados tratados en que se menciona el método se encuentran *Manière de rendre toutes sortes d'édifices incombustibles* de 1754 escrito por el Conde d'Espie y el *Cours d'Architecture* de Jean-François Blondel y Pierre Patte de 1777 (Fig. 1).

Jean-Baptiste Rondelet (1734–1829) también expuso la técnica de las bóvedas tabicadas en su *Traité Théorique et pratique de l'art de bâtir* de 1802. Al ejercer éste la docencia tanto en la Escuela Politécnica como en la Escuela de Bellas Artes podemos imaginar una cierta difusión de la idea. Todas estas descripciones presentaban el uso de la bóveda como un sistema intrínseco al edificio con poca influencia sobre su configuración espacial o su lenguaje formal.[9] El rápido crecimiento de las ciudades durante la segunda mitad del siglo XIX incrementó la necesidad de una construcción resistente al fuego.

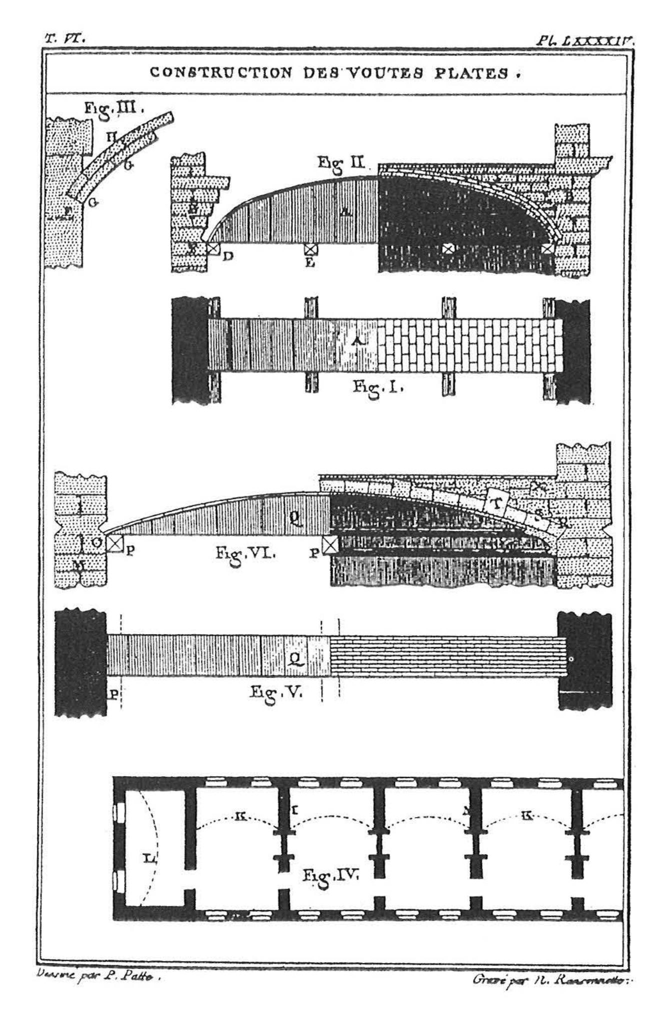


Figura 1.
Dos versiones de bóvedas tabicadas con ladrillos colocados de plano. Pierre Patte, *Cours d'Architecture,* Vol.6, lámina 94 (1777)

En este contexto las delgadas bóvedas tabicadas se usaron nuevamente con frecuencia.[10] Resulta bastante plausible que su redescubrimiento y creciente estima se anticipase en el noreste de España al pensarse que se trataba de una invención específicamente catalana. El creciente movimiento en pro de la independencia fue de la mano de esfuerzos por revivir tradiciones catalanas en todos los aspectos de la vida cotidiana.[11]

Bóvedas catalanas y Modernismo

Rafael Guastavino, antes de emigrar a los EE.UU, empleó las bóvedas tabicadas con sobriedad y pragmatismo en una serie de edificios industriales de Barcelona entre los que destaca la fábrica para los hermanos Batllò —hoy conocido como Edificio del Reloj— de 1869–75.[12] En 1876 exhibió la bóveda catalana en la Exposición Mundial de

Filadelfia. Estimulados por el éxito, llevó esta técnica constructiva a los EEUU cinco años más tarde. Guastavino no permaneció en Barcelona el tiempo suficiente como para presenciar los cambios estilísticos que se producirían en la ciudad y sus alrededores a partir del decenio de 1880. La deliberada rareza y el carácter lúdico de la arquitectura presentada en la Exposición Mundial de Barcelona de 1888 con su creativa y exuberante ornamentación y los llamativos colores de los materiales preparó el camino para el Modernismo catalán del cambio de siglo. Antonio Gaudí y sus contemporáneos Lluis Doménech i Montaner y Josep Puig i Cadafalch estuvieron entre los muchos arquitectos que introdujeron las bóvedas catalanas en diversos tipos arquitectónicos y continuaron explorando sus posibilidades. Es en estos edificios, considerados auténticamente catalanes, en los que el método de abovedamiento alcanza no solo su pleno potencial por primera vez sino también simbolismo y significado político.

Lluis Doménech i Montaner (1850–1923) fue una figura clave de los aspectos arquitectónicos del movimiento catalanista. Como arqueólogo buscó el carácter típico catalán en la arquitectura medieval; como arquitecto se convirtió en adalid del uso de materiales nuevos o inusuales, y desarrolló teorías de carácter determinista acerca de aspectos funcionales o ambientales. En 1878 publicó *En busca de una Arquitectura Nacional,* obra que resume los orígenes del Modernismo. Como director de la escuela de arquitectura de Barcelona (1900–1919) tuvo una tremenda influencia en la siguiente generación de arquitectos catalanes. Su edificio más significativo es el Palau de la Música Catalana (1905–1908), ejecutado para una institución coral que resultaba clave para el renacimiento cultural de Cataluña. En él se utilizaron bóvedas catalanas con profusión y de forma ostentosa. Estas parecían encajar perfectamente con la rica ornamentación cerámica y con los elementos estructurales de hierro decorado los cuales a su vez representaban una concepción estrictamente arquitectónica bajo la apasionada y exuberante decoración. En el Hospital de San Paul (1902–1910), también de Montaner, se emplearon bóvedas tabicadas en sus pabellones y vestíbulos de escalera.

Josep Puig i Cadafalch (1867–1957) fue probablemente el más importante de los discípulos de Montaner. Viajero, arqueólogo y político, estaba profundamente implicado con el movimiento independentista catalán. Entre 1917 y 1924 fue presidente de la Mancomunitat, el órgano político más importante de Cataluña. Entre sus 161 publicaciones hay una historia monumental del arte románico catalán (1909–1918). En sus obras arquitectónicas empleó con frecuencia delgadas bóvedas tabicadas explorando con habilidad sus cualidades formales y estructurales. Puig i Cadafalch fue el arquitecto que más claramente relacionó este método de construcción

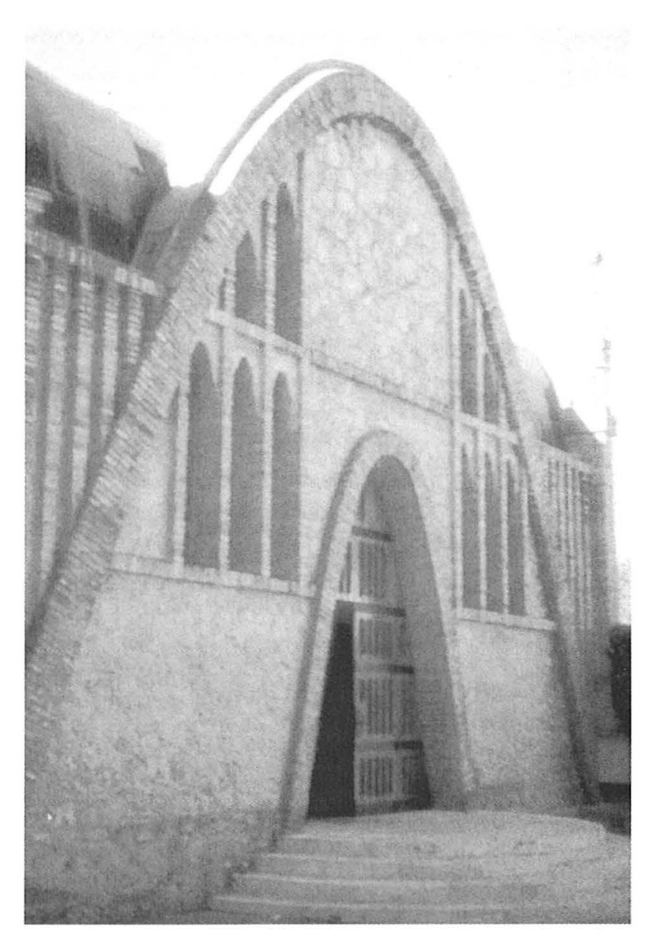


Figura 2.
Entre las más geniales obras de Puig i Cadafalch se encuentra un conjunto de edificios para el fabricante de cava Codorníu en Sant Sadurní d'Anoia (1901–1904). Foto del autor

directamente con el ansia de especifidad e independencia catalanas. Justificó esta relación a través del origen medieval catalán del método, su honestidad estructural y el hecho de que las piezas cerámicas procediesen de la tierra catalana. En el Congreso Internacional de Arquitectos de 1920 en Madrid, Puig dio una conferencia acerca de los métodos de abovedamiento catalanes. Simultáneamente, sobre el escenario, un grupo de obreros de la región construía una estructura de este tipo a una velocidad asombrosa.[13] En la fabrica textil Casimir Casarramona de Barcelona (1909–1911), Puig i Cadafalch lleva las finas bóvedas de los techos a través de la fachada para formar unos cuerpos salientes que resguardan las ventanas. Mucho más llamativo, y con certeza uno de los logros más sobresalientes de Puig i Cadafalch, es el conjunto de edificios que realizó para el productor de cava Codorníu en Sant Sadurní d´Anoia (1901–1904) (Fig. 2).[14] Puig i Cadafalch utilizó la curva catenaria[15] o arco parabólico como su motivo principal y con ella abovedó la sala principal, las alas laterales que eran más pequeñas y las ventanas. Estos arcos paraboli-

cos están construidos por hojas de rasillas que se manifiestan con claridad al exterior. Junto con el gótico este es uno de los ejemplos más puros de arquitectura en que el principio estructural da forma a todo el edificio. Las bóvedas fueron empleadas también en las partes menos importantes de la bodega, utilizándose también cuando en la década de 1950 Lluis Bonet i Garí agrandó algunas naves de almacenamiento.[16]

Estos primeros edificios influyeron profundamente al discípulo y biógrafo de Gaudí César Martinell (1888–1973) quien diseñó más de treinta cooperativas agrícolas en Cataluña de 1913 a 1919. Entre éstas quizá la más importante sea la de Gandesa (1919) (Fig. 3). Las «catedrales agrícolas» de Martinell tuvieron un gran significado político para el movimiento independentista catalán. La sucesión de bóvedas tabicadas, los arcos parabólicos de apoyo realizados con rasilla, la gran altura libre de los espacios interiores y la luz cenital contribuyeron a configurar algunos de los edificios utilitarios más impresionantes por su espacialidad e innovadores estructuralmente del siglo veinte.[17]

Estos logros fueron sólo igualados por la fábrica textil Aymerich, Amat i Jover (Fig. 4) construida en Tarrasa entre 1907 y 1909 por Lluís Muncunill i Parellada

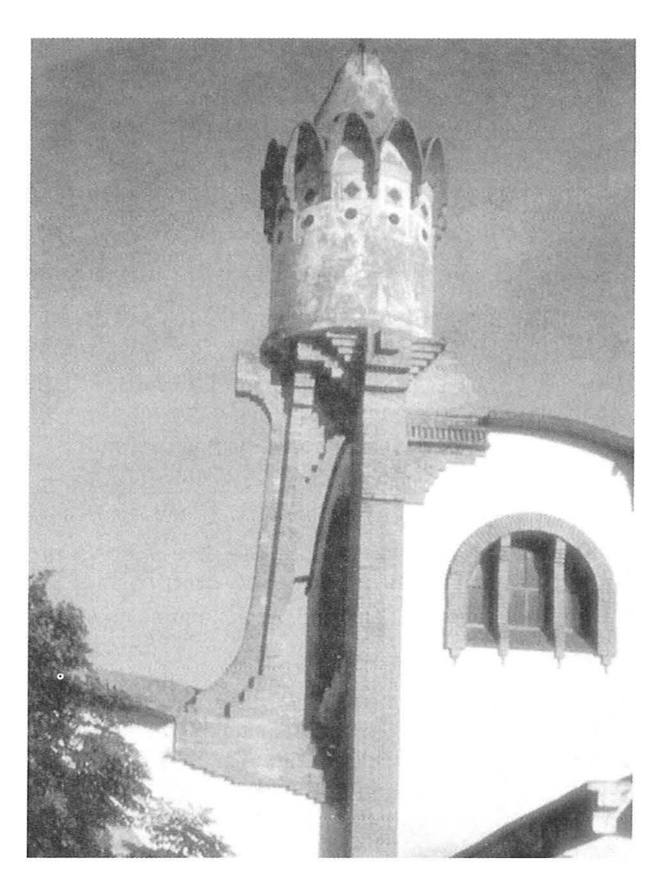


Figura 3.
Cooperativa agrícola Gandesa de César Martinell, España (1920). Foto del autor

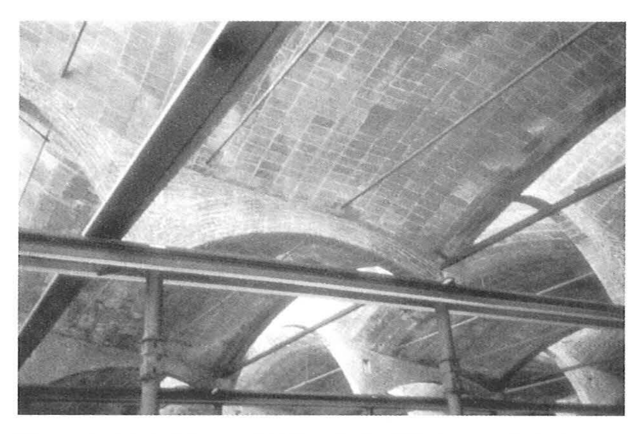


Figura 4. Lluis Muncunill i Parellada. Fábrica textil de Aymeridi, Amat i Jover en Tarrasa (1907–1909). Foto del autor

(1868–1931). Muncunill cubrió una convencional estructura porticada de acero con una serie de bóvedas tabicadas de doble curvatura que se abrían suavemente hacia la luz del norte. Hoy en día el edificio es un museo de historia de la tecnología (Museu de la Ciencia i de la técnica de Catalunya). De aspecto más bien modesto desde el exterior, la sala principal del edificio presenta el interior convincente y bien iluminado de una planta industrial.[18]

Lluis Muncunill diseñó también la Masía Freixa en Terrasa (1907–10). Aunque pensada inicialmente como fabrica textil se transformó más tarde en residencia y hoy funciona como escuela de música (Fig. 5). El conjunto de la estructura, con sus potentes e inusuales formas se deduce de la aplicación de bóvedas tabicadas y curvas catenarias.

Antonio Gaudí, gran innovador estructural y el representante más notable del modernismo catalán, utilizó tanto curvas catenarias como bóvedas tabicadas desde muy pronto.[19] Ambos elementos aparecen ya en el Palacio Güell de 1886–1889. Las curvas catenarias son fundamentales en la estructura del tejado de la casa Milá (1906–1912), y aparentemente Gaudí tenía intención de utilizar bóvedas tabicadas en la Sagrada Familia (comenzada en 1883). El edificio del colegio situado en el exterior de ésta resulta de especial interés: construido hacia 1906 presenta una delgada y curva pared exterior y una cubierta ondulada. A pesar de que la curvatura simple del abovedamiento es menos compleja que en muchas otras realizaciones, el acertado encuentro entre muro y cubierta representa un deslumbrante logro formal.

Las bóvedas catalanas y el Movimiento Moderno

El uso de las bóvedas catalanas como medio expresivo disminuyó con la difusión del vocabulario formal del Movimiento Moderno que se desarrolló paralelamente a téc-

nicas de construcción que requerían menos mano de obra. Existen sin embargo algunas excepciones. El arquitecto suizo Le Corbusier tuvo siempre un interés por la arquitectura vernácula del mediterráneo. Durante un viaje a Barcelona en 1928 dibujó la escuela de Gaudí en la Sagrada Familia y fue uno de los primeros arquitectos modernos en reconocer la genialidad de este arquitecto.[20] Utilizó bóvedas tabicadas como encofrado perdido en la cubierta de la casa Jaoul de 1955 en París. Sin embargo una relación directa con Gaudí parece improbable ya que su utilización como encofrado en esta bóveda fue muy sencilla y formalmente diferente. Tras el enorme éxito del lenguaje formal que él había ayudado a formular durante los años 20, sus críticos contemporáneos observaron con cierto asombro su retorno a técnicas artesanales y a la evocación de las formas autóctonas. El arquitecto británico James Stirling señaló que la Casa Jaoul era «esencialmente exótica y antiurbana», que contenía «volúmenes interiores parecidos a una cueva» y que era «antimecanicista, tradicionalista y ligada a la tierra».[21] Este extracto ilustra bien las dificultades de los arquitectos occidentales en aceptar cualquier cosa que no encajase con unos ideales de progreso y modernidad rígidamente definidos. En un curioso comentario Stirling remarcó que la casa «fue creada para un status tan actual como el del obrero emigrante argelino que trabajó en ella». El trabajador argelino podía en efecto conocer las bóvedas tabicadas ya que habían sido usadas con éxito en Argelia en 1947.[22]

Las cáscaras de hormigón fueron desarrolladas en Alemania en la década de 1920. No está claro si Walter Bauersfeld, a quien se atribuye este avance, conocía las anteriores cáscaras de ladrillo.[23] De cualquier forma, los arquitectos españoles Eduardo Torroja (1899–1961) y Felix Candela (1910–1997) emplearon durante la década de 1950 cáscaras de hormigón armado desarrollando una arquitectura de nueva expresividad. Ellos evidentemente sí conocían y se inspiraron en las técnicas de abovedamiento catalanas. En su libro Filosofía de las estructuras (1958) Torroja señalaba:

> La bóveda catalana, tan congénita en su tierra como el algarrobo de sus campos, y tan maravillosa, en sus realizaciones, que difícilmente alcanzan los actuales conocimientos teóricos a explicar y medir su fenómeno resistente, genialmente intuido por constructores desaparecidos bajo la tierra con que fabricaron sus ladrillos hace siglos. [24]

Ilustró estas observaciones haciendo referencia a la madrileña iglesia de San Agustín (1949–1954) construida por Luis Moya Blanco y que presenta una compleja cubierta catalana con doble curvatura.[25] Su propio trabajo deriva del mismo análisis cuidadoso de los esfuerzos de tensión y de compresión que han hecho posibles las bóvedas laminares, por ejemplo en la cubierta sobre la tribuna del hipódromo de la Zarzuela en Madrid (1935).

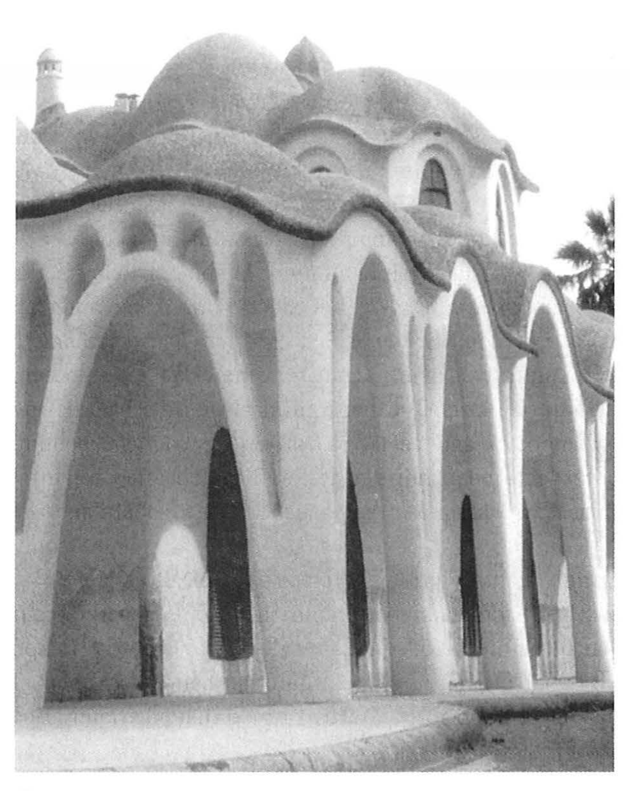


Figura 5.
Masía Freixa en Terrassa de Lluis Muncunill i Parellada (1907–1910). Foto del autor

Félix Candela, que había estudiado en Madrid, estaba fascinado por las teorías estructurales, la geometría analítica, la trigonometría y las estructuras de cáscaras. Tras graduarse en 1935, se unió a las fuerzas republicanas en la Guerra Civil Española. En 1939 fue encarcelado y deportado a México. Allí retomó sus experimentos con cáscaras. La normativa mejicana, menos restrictiva, facilitó estos ensayos. Empleó el hormigón en aplicaciones en cáscaras extremadamente delgadas resaltando así el concepto de que la resistencia estructural procedía de la forma y no de la masa. Ejemplo de esto es el paraboloide hiperbólico del Pabellón para el Estudio de los Rayos Cósmicos en la Universidad de México (1952), donde la cubierta tenía un espesor de tan sólo 1,5 cm. Sus más de 900 cáscaras construidas resultaron ser económicas y estéticamente agradables y se aplicaron a viviendas unifamiliares de bajo coste, iglesias, restaurantes e incluso estaciones de televisión. En el famoso restaurante de Xochimilco (1958–1959), situado en las afueras de la ciudad de México, empleó una delgada cáscara con forma de silla de montar.

Las bóvedas de Eladio Dieste

Mientras que las cáscaras de hormigón de Torroja y Candela tradujeron las ideas centrales de las estructuras laminares tabicadas a un material distinto, otros continuaron desarrollando las propias bóvedas catalanas. El arquitecto uruguayo Eladio Dieste (1917–2000) aplicó los principios fundamentales de dichas bóvedas y los mejoró estructuralmente aunque insistió en que su inspiración provenía de las delgadas cáscaras de hormigón de arquitectos e ingenieros como Torroja y Candela. Su mejora más importante fue el uso de tirantes y redondos de acero de refuerzo en combinación con las bóvedas tabicadas de doble curvatura, lo que aumentaba la luz posible de cada unidad. Tanto en sección transversal como longitudinal la curva catenaria demostró ser la más resistente estáticamente. En sus escritos Dieste contextualizó la técnica en el mercado mundial de la construcción donde los países pobres eran presionados a adoptar métodos industrializados de construcción:

> Lo que se conoce menos es que el ladrillo puede resistir ciertas tensiones mejor que algunos de los mejores hormigones, y que el hormigón y el mortero no pueden igualar la ligereza de la tierra cocida. Hemos sido capaces de realizar estructuras que por su ligereza habrían sido imposibles en hormigón armado.[...] Hemos producido cascarones de doble curvatura en los que ondulaciones longitudinales variables dan la rigidez necesaria para hacer frente a la flexión y a la inestabilidad elástica. Todas las secciones transversales son curvas catenarias, y dado su escaso peso, la cáscara soporta unas tensiones muy bajas.[...]Estas técnicas han demostrado ser una alternativa económica y racional a los sistemas de hormigón prefabricado y acero. Hemos realizado grandes luces con alta velocidad de construcción y una mano de obra relativamente escasa.[...] Incluso en las aplicaciones más...artísticas, como iglesias que hemos construido, los costes han sido absurdamente bajos...No hay nada más noble y elegante desde un punto de vista intelectual que esto: resistir a través de la forma.[26]

Dieste atribuyó el tímido éxito de las cáscaras curvas de ladrillo a «la tiranía de la mesa de dibujo»; si los proyectos eran demasiado difíciles de dibujar, no eran construidos. Entre las creaciones más asombrosas de Dieste está una iglesia en Atlántida, Uruguay (1958), con paredes y techo ondulados basados en un principio similar al de la escuela de Gaudí en la Sagrada Familia.[27] De igual importancia es un almacén en Montevideo de principios de la década de 1960 donde las luces se salvan con cáscaras de doble curvatura similares a aquellas utilizadas por Lluis Muncunill en 1919 en la fábrica textil de Terrasa. La propia casa de Dieste en Montevideo (1962) emplea las sencillas bóvedas de cañón tabicadas que Le Corbusier había utilizado unos años antes en las Casa Jaoul.[28]

Las Escuelas de Arte Cubanas

Quizás el más espectacular intento de utilizar el sistema de abovedamiento tabicado como símbolo político y cultural se dió en Cuba tras la revolución. En 1959 Fidel Castro y el Che Guevara decidieron construir un grupo de nuevas escuelas de arte, Las Escuelas Nacionales de Arte, en el lugar que había sido un prestigioso club de golf cubano. Castro en persona encargó al joven arquitecto Ricardo Porro (1925) la construcción. Porro, que había estudiado en La Habana y París, admiraba los expresivos últimos trabajos de Le Corbusier. Junto con dos amigos italianos, Vittorio Garatti y Roberto Gottardi, comenzó el diseño en 1961, tan solo unos días después del incidente de Bahía de Cochinos.[29] Porro asumió la dirección general del proyecto de las escuelas de danza moderna y artes plásticas, Roberto Gottardi proyectó la escuela de arte dramático y Vittorio Garatti la de música y ballet (Fig. 6). Con la aprobación de Castro, Porro escogió las bóvedas tabicadas como sistema estructural principal. Su coste era asumible y permitía una inusual expresividad que podía servir como símbolo de la joven revolución cubana. Todos los edificios explotaron las posibilidades del material produciendo agrupaciones de cúpulas, y secuencias de bóvedas de cañón. La manera en que estos edificios abordaron problemas urbanísticos y espaciales al tiempo que respondían al paisaje circundante hacen de este complejo una de las creaciones arquitectónicas más importantes de comienzos de los años 1960.



Figura 6.
Escuela de Artes Plásticas de la Habana, Cuba, de Ricardo Porro (1961–1965). Foto del autor

El éxito de todo el proyecto dependió de un discreto albañil de Barcelona, Gumersindo, cuyo padre había trabajado para Antonio Gaudí. Las bóvedas de muestra de Gumersindo ayudaron a superar el escepticismo inicial de las autoridades.[30] En un principio los trabajos en las

escuelas se desarrollaron con rapidez. Sin embargo más tarde la situación política debida a la crisis de los misiles de 1962 y la necesidad de trasladar trabajadores a otros sitios retrasaron las obras. Finalmente las escuelas fueron oficialmente inauguradas a pesar de encontrarse en diversas fases de terminación. El simultáneo aumento de la influencia soviética llevó a un mayor énfasis en la prefabricación y al regreso a los llamados principios racionalistas. En 1968 las bóvedas tabicadas fueron criticadas como individualistas, monumentales y autoritarias en lugar de «científicas», «flexibles» y «eficientes».[31]

Conclusión

Las bóvedas laminares han desempeñado papeles diferentes en distintas culturas. El abultado número de obras realizadas en EE.UU. entre la década de 1890 y la de 1930 parece indicar un éxito no alcanzado en otros lugares. Sin embargo allí su potencial formal y expresivo para generar curvaturas dobles, paramentos y cubiertas ondulados permaneció bastante inexplorado. En Cataluña, Cuba y Uruguay sus inusuales cualidades estructurales ayudaron a crear un lenguaje formal diferente y motivó a los arquitectos que buscaban una nueva arquitectura moderna cargada de significación política. En un lugar representó la independencia cultural y política de Cataluña; en otro el David de la construcción económica, de baja tecnología y que empleaba mucha mano de obra frente al Goliat de la construcción altamente industrializada. Las corrientes dominantes de la historia de la arquitectura moderna occidental parecen haber adoptado los mitos que la industria de la construcción ha ayudado a perpetuar – que el progreso era necesario e inevitable y que éste hallaba su expresión más nítida en logros ingenieriles como torres altas, grandes luces salvadas con acero y la irrefrenable explotación de los recursos naturales. El reciente redescubrimiento de la bóveda tabicada por parte de los historiadores de la arquitectura muestra una tendencia hacia un enfoque más equilibrado y amplio en que los materiales y su significación desempeñarán un papel más importante. La bóveda catalana en concreto prueba que la interpretación de Louis Sullivan, que los materiales de construcción son portadores potenciales de significado poético y social, es tan válida hoy en día como hace un siglo.

Agradecimientos

Me gustaría agradecer a Christiane Crazeman Collins por su apoyo y su invitación a estudiar los libros y diapositivas de su difunto esposo acerca del tema. Estoy también profundamente agradecido a mis lectores anónimos en APT y a los editores del Boletín por su cuidadosa edición del manuscrito.

Notas

1. Louis H. Sullivan, «Kindergarten chats» *Interstate Architect & Builder* 2 (1901): 52 y 3 (1902); reeditado en *Kindergarten Chats and other Writings,* New York: Dover, 1979, 140–141.
2. Tan solo las cúpulas geodésicas de Buckminster Fuller proporcionan una alternativa igualmente convincente a los métodos de abovedamiento convencionales.
3. Una búsqueda al azar entre recientes publicaciones de construcción reveló que o bien no mencionaban el tema en absoluto o lo hacían muy someramente, en relación con los forjados a prueba de incendios. Véase Donald Friedman, *Historical Building Construction,* New York: W.W.Norton, 1995, 94 y Jürgen Joedicke, *Shell Architecture,* Stuttgart: Karl Krämer Verlag, 1963, 10–11, que rastrea la historia de los cascarones tan sólo hasta los años 20 y a Walter Bauersfeld para Zeiss en Jena en 1925. Joedicke menciona sin embargo los ensayos de Gaudí para la Sagrada Familia.
4. Toda investigación acerca de Guastavino suele comenzar por el artículo que escribió George Collins en 1968 y con el archivo que elaboró y depositó en la Universidad de Columbia. George R. Collins, «The Transfer of Thin Masonry Vaulting from Spain to America» *Journal of the Society of Architectural Historians* 27 (Octubre 1968): 176–201 [traducción española en este libro: «El paso de las cáscaras delgadas de fábrica desde España a América»]. Este artículo contiene una voluminosa bibliografía. Desde que el artículo de Collins apareciese en 1968, la aportación más significativa a la investigación sobre las bóvedas de Guastavino y su aplicación en los EE.UU se debe al trabajo de Janet Parks y Alan Neumann, que culminó con la exposición itinerante y publicación de 1997: Janet Parks y Alan G. Neumann, *The Old World Builds the New: The Guastavino Company and the Technology of the Catalan Vault, 1885–1962,* New York: Avery Library, Columbia University, 1996; ver reseña, Dietrich Neumann, «The Old World Builds the New: The Guastavino Company and the Technology of the Catalan Vault, 1885–1962» *Journal of the Society of Architectural Historians* 56 (Septiembre 1997): 341–344. Otros artículos acerca de esta técnica son: Theodore H.M Prudon, «Guastavino Tile Construction» *Progressive Architecture* 9 (1989): 137–138; Ann K. Milkovich, «Looking back: Guastavino Tile Construction» *Building Renovation* 1 (Julio/Agosto 1993): 57–60; Juan Bassegoda Nonell, «La Bóveda Catalana» *Anales de Arquitectura* 3 (Marzo 1991): 142–148. En 1995 Riccardo Gulli y Giovanni Mochi, historiadores de arquitectura italianos, realizaron la más exhaustiva crónica internacional acerca de las bóvedas tabicadas hasta la fecha, que desgraciadamente no ha recibido la atención que merece. R. Gulli, y G. Mochi. *Bóvedas Tabicadas: Architettura e Construzione,* Roma: CPD Editrice, 1995.

5. Turpin C. Bannister, «The Roussillon Vault. The Apotheosis of a Folk Construction» *Journal of the Society of Architectural Historians* 27 (Octubre 1968): 163–175.
6. Historiadores del arte del siglo XIX como Auguste Choisy o E. Viollet-le-Duc, ilustraron una técnica de abovedamiento romana que utilizaba ladrillos sentados de plano como encofrado perdido en el interior de las bóvedas de cañón. Ver por ejemplo las termas de Caracalla en Roma ilustradas en un dibujo de A. Choisy de 1873. Jean-Pierre Adam, *Roman Buildings: Materials and Techniques,* Bloomington: Indiana University Press, 1994, 178. Gulli y Mochi, *Bóvedas Tabicadas*, 109–110.
7. Philipe Araguas, «L'acte de naissance de la bóveda tabicada ou le certificat de naturalisation de la voûte catalane» *Bulletin Monumental* 156 (1998): 9–136.
8. Gulli y Mochi, *Bóvedas Tabicadas,* 28–29
9. Ibídem, 38–39, 70.
10. Rafael Guastavino las presentó en la Exposición Mundial de Filadelfia de 1876 como «Improving the Healthfulness of Industrial Towns». Parks y Neumann, *The Old World Builds the New,* 14.
11. A partir de 1876, tras la derrota carlista, el apoyo de la Iglesia se transfiriese al movimiento autonomista, y se produjo un interés especial por todo lo catalán. La forma concreta en que este «redescubrimiento» se produjo deberá ser objeto de una investigación adicional. Rafael Guastavino afirmaba en sus escritos que el 99% de los arquitectos de Barcelona no habían oído hablar de la construcción tabicada durante los decenios de 1860 y 1870.
12. Parks y Neumann, *The Old World builds the New* 15. «Remodelación del Edificio del Reloj de Barcelona. Carles Buxadé y Joan Margarit, arquitectos» *On Diseño* 116 (1990): 134–137. François Loyer menciona al ingeniero Joan Torras i Guardiola, profesor de Guastavino, que tuvo un papel indirecto en el redescubrimiento de las bóvedas catalanas por los experimentos que llevó a cabo a partir de 1871. François Loyer, *Jugendstil in Katalonien*, Cologne: Benedikt Taschen Verlag, 1997, 16 y 208. Gulli y Mochi, *Bóvedas Tabicadas*, 192.
13. Judith Rohrer e Ignasi de Solà-Morales, (eds.), *Josep Puig i Cadafalch: la Arquitectura entre la Casa y la Ciudad*, Barcelona: La Fundación: Collegi d'Arquitectes de Catalunya, 1989, 24.
14. Tamara Molinari, «Le Cantine Codorníu» *Abitare* 286 (Junio 1990): 142–147.
15. Las curvas catenarias son iguales a las que produciría una cadena colgando entre dos puntos. Su equivalente matemático —con muy pequeñas diferencias— son los arcos parabólicos. Estas curvas proporcionan la distribución más eficiente, desde un punto de vista estático del peso de una bóveda.
16. François Loyer, *Jugendstil in Katalonien,* 214.
17. Para una lista completa de los edificios agrícolas en Cataluña de Martinell consultar: César Martinell Brunet e Ignasi Solà-Morales Rubió, *Construcciones Agrarias en Cataluña,* Barcelona: Publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos de Cataluña y Baleares, 1975. La mayoría de la treintena de edificios agrícolas en las provincias de Tarragona, Lleida, Barcelona y Gerona emplea curvas catenarias y bóvedas catalanas.
18. «El vapor Aymerich, Amat I Jover de Terrassa» *Quaderns del mNatec* 1 (1997): 1–24.
19. Juan Bassegoda Nonell, «La bóveda catalana», 142–148. Bassegoda menciona los siguientes edificios de Gaudí con bóvedas catalanas: los establos Güell (1884–1887), el palacio Güell (1886–1888), el palacio de Astorga (1889–1893), las escaleras de la sagrada familia, el colegio Teresiano (1888–1889), la casa Calvet (1898–1899), la casa Battló (1904–1906), y la casa Milá (1906–1912), entre otras.
20. Dijo acerca de Gaudí: «lo que yo había visto en Barcelona era el trabajo de un hombre de extraordinaria fuerza, fe y capacidad técnica, que manifestó a lo largo de toda su vida en la obra. Era un hombre que hacía tallar la piedra ante sus propios ojos a partir de unos dibujos realmente de maestro Gaudí es «el constructor» de 1900, que edificó con maestría en piedra, hierro o ladrillo. Sólo permanecen aquellos que tocan el corazón sensible de los hombres, pero serán tratados duramente: serán malinterpretados y acusados de pecar contra la moda del momento.» [Cuando Le Corbusier escribe Gaudí no tenía el unánime reconocimiento que hoy posee]. Le Corbusier, 1957, en: *Gaudí. Texto: Le Corbusier. Fotos: Gomis, Prats* (Barcelona: Ediciones Polígrafa, 1967), 22–23.
21. James Stirling, «Garches to Jaoul» *The Architectural Review* 118 (Septiembre 1955): 145–149.
22. Marcel Lathui, «Problèmes Algériens: Voûtes Minces Dites Rhorfas» *L'Architecture d'aujourdhui* 3 (Septiembre/Octubre 1945): 32–35.
23. Joedicke, *Shell Architecture,* 10 y 11.
24. Eduardo Torroja, *Philosophy of Structures,* Berkeley: University of California Press, 1958, 199. Eduardo Torroja, *Razón y Ser de los Tipos Estructurales,* Madrid: Consejo Superior de Investigaciones científicas, 1998, 235–36.
25. Luis Moya Blanco utilizó las bóvedas tabicadas en diversos proyectos durante los decenios de 1940 y 1950. Fue además autor del primer libro moderno sustantivo sobre la bóveda catalana, que sirvió de importante fuente para la parte europea de la investigacion de George Collins: Luis Moya Blanco, *Bóvedas Tabicadas,* Madrid: Dirección General de Arquitectura, 1947. Ver también: Gulli y Mochi, *Bóvedas Tabicadas*, 95 y Juan Bassegoda Nonell, «La Bóveda Catalana», 142–148.
26. Eladio Dieste, «Some Reflections on Architecture and Construction» *Perspecta* 27 (1992): 186–203.
27. Ver una reciente comparación entre la escuela de Gaudí y la iglesia Atlántida (1957) en Montevideo por Eladio Dieste. Josep Mª. Adell Argilés, «Las Bóvedas de la Atlántida» *Informes de la Construcción* 44 Septiembre/Octubre 1992): 113–123.
28. «Casa Dieste, Montevideo, Uruguay 1962» *MUR* 3 (1992): 26–28.
29. John A. Loomis, *Cuba's Forgotten Art Schools*, New York: Princeton Architectural Press, 1998.
30. Ibídem, 33.
31. Ibídem, 128–131.

George R. Collins (1917–1993)

Janet Parks

George R. Collins (1917–1993), profesor de Historia del Arte en la Universidad de Columbia, Nueva York, durante más de cuarenta años, fue un prestigioso estudioso del arquitecto catalán Antonio Gaudí, la arquitectura del Modernismo catalán, las bóvedas tabicadas de Guastavino, el urbanismo y la arquitectura visionaria. Su libro sobre Gaudí, de 1960, fue el primero publicado en inglés sobre el arquitecto y su exposición sobre dibujos recién descubiertos de Gaudí fue alabada por el New York Times como una de las grandes exposiciones de 1977. Fue coautor con Juan Bassegoda Nonell de un libro titulado *The Designs and Drawings of Antonio Gaudí,* Princeton University Press, 1983. Su archivo de documentación sobre Gaudí y la arquitectura del Modernismo Catalán se encuentra desde 1989 en las bibliotecas Ryerson y Burnham del Art Institute of Chicago. A comienzos de los años 1960, el profesor Collins y Henry-Russell Hitchcock organizaron tres simposios sobre Arquitectura Moderna en la Avery Architectural and Fine Arts Library, de la Universidad de Columbia. Fue el responsable de la exposición itinerante de 1978, *Visionary Architecture*, que se inauguró en el Drawing Centre de Nueva York.

El profesor Collins publicó numerosos escritos sobre urbanismo a lo largo de su carrera, trabajando frecuentemente con su esposa, la historiadora del arte, Christiane Crasemann Collins. Juntos publicaron una traducción del *City Planning According to Artistic Principles* de Camillo Sitte y escribieron el libro titulado *Camillo Sitte and the Birth of Modern City Planning.* El profesor Collins publicó dos artículos sobre planeamiento urbano y la Ciudad Lineal de Madrid en el *Journal of the Society of Architectural Historians* en 1959. Editó nueve volúmenes de la serie *Cities and Planning*, de Braziller.

Recibió muchos premios y subvenciones para realizar su trabajo, entre ellos el American Institute of Architects New York Chapter Award of Merit (1987) y becas de la Fundación Rockefeller, Guggenheim y el American Council of Learned Society. Recibió un doctorado «honoris causa» de la Universidad Politécnica de Barcelona en 1977 y fue elegido miembro de la Real Academia de Bellas Artes de San Jorge en 1991. Pronunció las Conferencias Mathews en la Universidad de Columbia en 1979 sobre el neomedievalismo en España.

La recuperación de los archivos de la empresa Guastavino se produjo de forma totalmente casual. A principio de los años 1960, el Profesor Collins se encontraba en un funeral por un joven compañero en la St. Paul´s Chapel, en el campus de la Universidad de Columbia. Durante la ceremonia, para recobrar la calma, miró hacia la cúpula de la capilla y se dió cuenta con sorpresa de que era una cúpula tabicada. Preguntándose cómo pudo haberse construido esta cúpula en el campus de Columbia, el Profesor Collins investigó su historia y descubrió que Rafael Guastavino había construido la cúpula, las bóvedas y las escaleras de la capilla trabajando con los arquitectos Howells and Stokes. Collins descubrió que las oficinas de la empresa Guastavino estaban en Woburn, Massachusetts, no muy lejos de la casa de sus padres, y en la siguiente visita que realizó a éstos, hizo una excursión a Woburn. Allí conoció a A. M. Bartlett, que le contó que estaban liquidando la empresa y empezando a tirar los dibujos y papeles que aún quedaban sobre su historia. En 1962 Collins le convenció para que le dejase llevar el archivo a Columbia, que transportó haciendo varios viajes en el coche familiar. Desafortunadamente llegó a la empresa cuando era demasiado tarde para salvar todos los archivos; es posible imaginar cuántas cosas se habrían tirado a lo largo de los años. Por muy poco tiempo no pudo

Traducción de Gema López Manzanares.

recuperar los documentos técnicos del ingeniero de la empresa, que se lamentó de que los basureros se hubieran llevado el material sólo unos días antes de la petición de Collins.

En los años que siguieron inmediatamente a la adquisición del archivo, Collins recibió ayudas del American Council of Learned Societies para localizar y documentar los proyectos de Guastavino. En 1966, Collins pronunció una ponencia sobre la empresa Guastavino en un congreso de la Society of Architectural Historians celebrado en Nueva York. El texto de esta ponencia indica que ya había encontrado y establecido contacto con los miembros supervivientes de la familia Guastavino, que le dieron más información. En 1967 pronunció una versión más elaborada de la ponencia, «A System of Structural Clay Vaulting», en una sesión titulada «The Creative Challenge of Masonry» de la International Conference on Masonry Structural Systems, celebrada en la Universidad de Texas, en Austin. Por último, a finales del año siguiente, publicó la versión definitiva del artículo, «The Transfer of Thin Masonry Vaulting from Spain to America», en el *Journal of the Society of Architectural Historians*. Collins también escribió una breve reseña sobre los Guastavino para la *MacMillan Encyclopedia of Architects*.

Durante años el Profesor Collins trabajó continuamente en la documentación de la obra de los Guastavino, viajando a muchas ciudades americanas para ver edificios, incorporando a estudiantes de postgrado a su programa de investigación, y añadiendo importante documentación a los archivos originales de la empresa Guastavino. De acuerdo con la última nota a pie de página de su artículo para el *Journal of the Society of Architectural Historians*, había recibido el encargo de escribir una monografía sobre los Guastavino para el Colegio Oficial de Arquitectos de Cataluña y Baleares, que nunca se terminó. La documentación de la obra de Guastavino demostró ser una tarea enorme y desafortunadamente, al jubilarse, una enfermedad impidió al Profesor Collins concluir este proyecto.

Las fuentes documentales sobre la *Guastavino Company*

Janet Parks

El paso del tiempo puede a menudo hacer olvidar trayectorias y logros bien conocidos; la historia se construye por la interpretación de los monumentos, los proyectos, y las obras, de aquellos que permanecen de forma manifiesta o destacada. Entre estos afortunados se encuentran Rafael Guastavino y su hijo, también llamado Rafael. En los Estados Unidos su obra como arquitectos y constructores de casi mil cúpulas, bóvedas y arcos, permanece como símbolo visible, e incluso emblemático, de una época dorada de la arquitectura americana. Ésta surge en el decenio de 1880, tiene su máximo esplendor en las décadas del cambio de siglo y va lentamente decayendo a lo largo de la primera mitad del siglo XX. En el periodo más destacado —los años entorno al cambio de siglo—, conocido como American Renaissance, los arquitectos perseguían materializar los ideales de las instituciones públicas, culturales y gubernamentales, mediante el empleo de formas clásicas. Los Guastavino colaboraron con todos los principales arquitectos del momento; McKim, Mead y White, Cass Gilbert, Bertram Goodhue, Warren y Wetmore, Ralph Adams Cram, Henry Hornbostel, Carrère y Hastings, entre otros (Figs. 1–5). Que a los Guastavino se los conozca hoy menos que a sus compañeros, no se debe a una falta de talento, sino más bien al papel que desempeñaban como constructores, que era sin embargo decisivo en el éxito del proyecto.

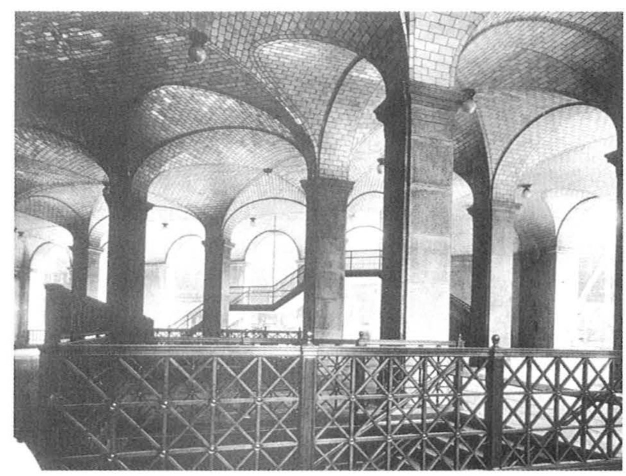


Figura 1.
Arcada exterior del Municipal Bulding de McKim, Mead and Withe, entorno a 1917. (McKim, Mead, and White collection)

El descubrimiento y puesta en valor de la obra de los Guastavino se debe en primer lugar a los esfuerzos y a la increíble clarividencia de un hombre, George R. Collins, profesor de Historia de la Arquitectura de la Universidad de Columbia en la ciudad de Nueva York. El profesor Collins adquirió para la universidad los archivos que la Compañía aún conservaba, poco tiempo antes de que ésta cesase definitivamente su actividad en 1962. La colección se compone de los documentos y dibujos originales que quedaban de la *Rafael Guastavino Company,* y las notas y correspondencia del profesor Collins, además de otros objetos recogidos de 1962 a 1988, cuando el archivo Guastavino-Collins se trasladó al Departamento de Dibujos y a los Archivos de la Avery Architectural and Fine Arts Library en Columbia. Fundada en 1890, la Avery Library es la más importante biblioteca de arquitectura de los Estados Unidos, con unos fondos por encima de los 348.000 volúmenes, incluyendo 14.000 libros raros, y unos archivos de arquitectura con cerca de 750.000 registros. Los archivos contienen documentos de muchos de los arquitectos con los que los Guastavino colaboraron.

Durante veinticinco años, el profesor Collins condujo a los historiadores y arquitectos a las fuentes documenta-

Traducción de José Antonio García Ares.

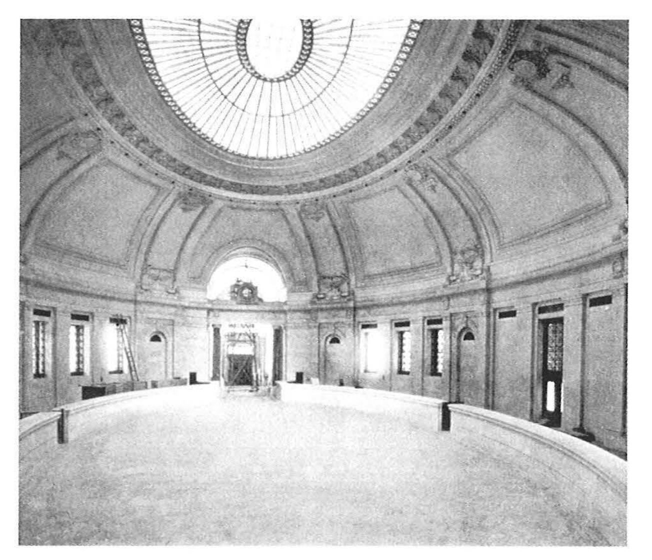


Figura 2
Vestíbulo principal de recepción del Custom House de Nueva York de Cass Gilbert, 1906. (Archivo Guastavino-Collins)

les de edificios, y atrajo y fomentó a generaciones de sus alumnos para que fueran más allá de la investigación que el mismo había realizado sobre la *Guastavino Company*. Proporcionó también información para trabajos de restauración. El más notable fue el de la biblioteca del Army War College en Washington D.C. construida por Mead and White en 1905, y restaurada a mediados del decenio de 1970 (Fig. 6). Era conocido por encargar a familiares y amigos, para que en sus viajes visitaran edificios que él sospechaba que podían haber contado con la intervención de Guastavino. El mismo Collins conservó fragmentos de bóvedas procedentes del Metropolitan Museum of Art en Nueva York y de la estación de ferrocarril de Birmingham en Alabama. Aún hoy en día, entusiastas de Guastavino continuan notificando edificios no documentados a la Avery Library para incluirlos en los archivos, y algunos han donado muestras de rasillas, fragmentos y fotografías.

En 1968 el Profesor Collins publico en el *Journal of the Society of Architectural Historians* «The transfer of Thin Masonry Vaulting from Spain to America», artículo seminal en inglés sobre la *Guastavino Company*.[1] El artículo ganó muchos admiradores de la obra de Guastavino y guió a los investigadores directamente a Collins y al archivo de la Universidad de Columbia. Uno de éstos era Peter Austin, que se había criado en Asheville en Carolina del Norte, dónde Rafel Gatavino había vivido durante la construcción de la Biltmore House, proyectada por Richard Morris Hunt. Austin había mantenido una escasa correspondencia con Collins. Cuando Austin llegó a Columbia para estudiar la colección, esta se había transferido en 1988 a la Avery Library, tras la jubilación del profesor Collins. El interés de Austin en la colección le llevó finalmente a obtener una beca para iniciar su catalogación. Por este tiempo se escribieron también las tesis doctorales de Ann Milkovich de la

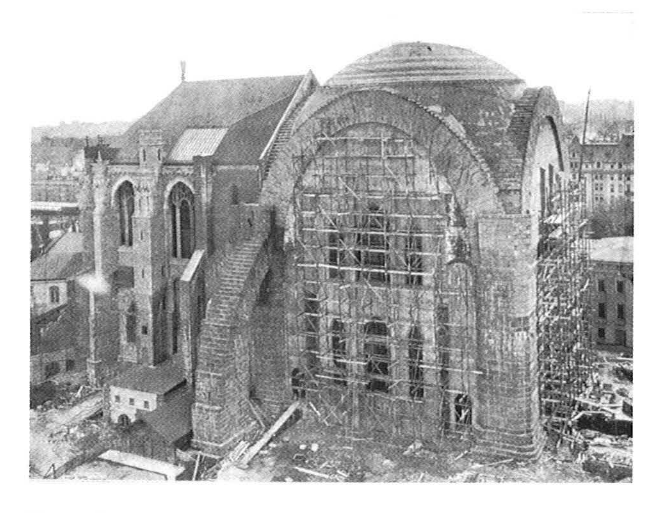


Figura 3
Catedral de San Juan el Divino de Nueva York, Heins & Lafarge. Cúpula en construcción. (Archivo Guastavino-Collins)

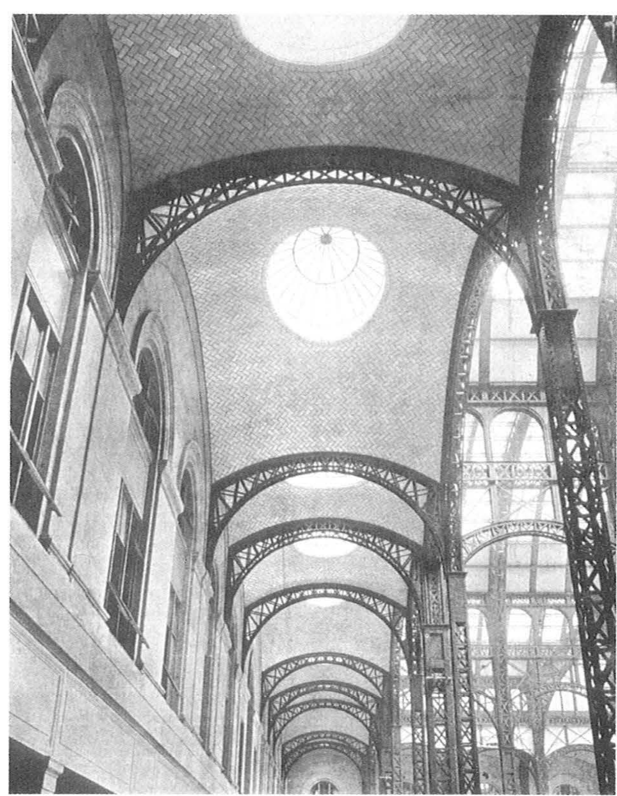


Figura 4
Lucernarios en la terminal de la estación de Pennsylvania en Nueva York, 1911. (McKim, Mead, and White collection)

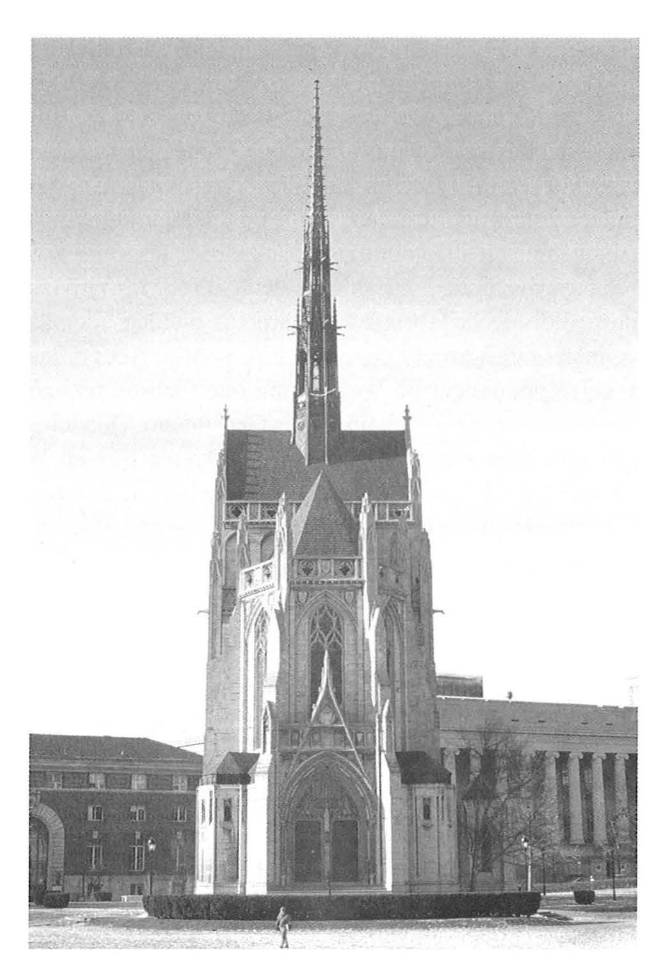


Figura 5
Capilla Heinz Memorial, de Charles Z. Klauder, Universidad de Pittsburg, Pennsylvania, 1931–1934. (Foto, Janet Parks)

Universidad de Pennsylvania y de Karin Link de la Universidad de Oregón.[2] Una vez suscitado el interés y la actividad entorno a la colección y su ubicación en la Avery Library, ésta solicitó y le fue concedida una de las dotaciones económicas estatales para las humanidades, destinada a procesar los fondos del archivo y catalogar y fotografiar todos los dibujos.

En 1996, quien escribe y Alan G. Neumann arquitecto y restaurador de edificios históricos, miembro del Instituto Norteamericano de Arquitectos (AIA), organizaron una exposición y publicaron un catálogo sobre la *Guastavino Company*, para la galería de arte Wallach en la Universidad de Columbia.[3] La exposición «The old World Builds the New: The Guastavino Company and the Technology of the Catalan Vault, 1885–1962» viajó al Museo Octagon en la ciudad de Washington, y al Museo de Arte Carnegie en Pittsburgh, Pensilvania. En abril de 1997 los mismos autores publicaron una guía de recorridos a pie por los edificios de Guastavino en Manhattan, que en la actualidad se encuentra en su segunda edición. Un congreso sobre conservación y restauración históricas, organizado por el New York Landmarks Conservacy en febrero de 1999, y la posterior publicación de las ponencias en el número de diciembre del *Bulletin of the Association of Preservation Technology*, atestiguaban la continuidad del interés en la obra de los Guastavino.[4]

Con estas publicaciones iniciales tenemos una amplia visión de los logros técnicos y artísticos de la *Guastavino Company.* Como quedó patente en el congreso de 1999, se necesitan más conocimientos técnicos sobre la obra de Guastavino, así como de los edificios que albergan sus bóvedas, cúpulas y arcos. Esta información se está, en algunos casos, preparando para proyectos de restauración y renovación. Un buen ejemplo de posible investigación técnica, es la reciente tesis doctoral en Preservación Histórica de la Universidad de Columbia, escrita por Daniel R. Lane, quién analizó muestras de mortero tomadas de diferentes construcciones ejecutadas por Guastavino.[5] Hay también un interés creciente en la historia de la Compañía y su papel en el proyecto de los edificios. Por fortuna los arquitectos con los que trabajaron los Guastavino se encontraban entre los más importantes de su tiempo y muchos de sus archivos se conservan en colecciones abiertas a los



Figura 6
Rotonda del Colegio de Guerra de los Estados Unidos de McKim, Mead and White, Fort McNair, Washington D.C., 1905. (Archivo Guastavino-Collins)

investigadores. Los arquitectos McKim, Mead and White; Bertram G. Goodhue; John Rusell Pope; Charles C. Haight;York and Sawyer; Warren and Wetmore; Cass Gilbert; Henry Hornbostel; Cram and Ferguson; y Carrère and Hastings, tienen todos importantes colecciones en la Avery Library y en otros archivos de arquitectura como los de la New York Historical Society, el Philadelphia Athenaeum, y la American Architectural Foundation en el Museo Octagon de la ciudad de Washington. La *Guastavino Company* trabajó con frecuencia en grandes edificios para instituciones públicas, conservándose a menudo dibujos y documentos en el mismo edificio o en archivos locales y estatales. También se citaba y hablaba de los Guastavino frecuentemente en publicaciones de la época.

Su importancia dentro de la Historia de la Arquitectura Americana fue sintetizada de modo brillante por George Collins en su artículo de 1968, donde escribió:

> En 1900 se hizo una encuesta entre los arquitectos norteamericanos acerca de los diez edificios más bellos de los Estados Unidos —*Brochure Series,* 4, (enero de 1900)—. Entre los que no eran anteriores a la llegada de Guastavino al país, todos menos dos incorporaban construcciones de Guastavino, y además la Compañía también había participado en los añadidos a dos de los de fecha anterior. El prestigio de los edificios en los que intervinieron los Guastavino se ha mantenido a lo largo de los años. Por ejemplo, cuando en septiembre de 1967 la delegación de Nueva York del Instituto Norteamericano de Arquitectos (AIA), para celebrar su centenario con una exposición, hizo una selección de los 38 edificios más destacados de Manhattan en los cien años anteriores, de los 22 que se construyeron durante los años de actividad de Guastavino —es decir, antes de la II Guerra Mundial—, más de la mitad estaban en el inventario de la Compañía. Y, como antes, los Guastavino habían construido bóvedas tabicadas en una modificación hecha a uno de los cuatro edificios exhibidos en la exposición que eran anteriores a su empresa.
> «Miren a su alrededor» —se decía en la muestra del AIA— «y encontrarán parte de la arquitectura más emocionante que ha producido el último siglo»[6]

Un análisis de la documentación del archivo Guastavino-Collins y de la información histórica disponible en otras fuentes, puede marcar el camino para una posterior investigación y entendimiento de la significación histórica de estas obras. Datos básicos del archivo son: 12 metros lineales de archivos, 2.652 dibujos de arquitectura y más de 45 fragmentos y muestras de productos. La colección contiene tanto proyectos como documentos administrativos. Mientras existen dibujos de 693 proyectos, de otros sólo se conservan documentos de archivo. Los documentos se refieren a los proyectos de la Compañía en 40 estados —incluyendo el distrito de Columbia—, 4 provincias Canadienses y otros 11 países extranjeros. La mayor parte de ellos se concentra en la ciudad de Nueva York y la zona este de los Estados Unidos, aunque existe incluso un proyecto en Hawai. Muchos tipos de información arquitectónica están presentes en la colección: dibujos, correspondencia, detalles, contratos, minutas, informes económicos, patentes, anuncios, fotografías, resultados e informes sobre ensayos, notas, muestrarios de rasillas y las tarjetas de pedido de la fábrica. Las carpetas pueden además contener citas, artículos, recortes de prensa, fotografías y correspondencia de la campaña que Collins realizó para documentar el trabajo de los Guastavino. Donaciones recientes incluyen rasillas del Oyster Bar en la Grand Central Terminal de la ciudad de Nueva York —conservadas tras el incendio de 1997—, y 372 rasillas, vasos, y otras piezas creadas por Rafael Guastavino hijo.

La colección puede parecer grande, pero no lo es si tenemos en cuenta la producción total de la Compañía. Los 2.652 dibujos pertenecientes a 693 proyectos suponen una media de tan sólo 3,8 dibujos por proyecto. Los dos proyectos más extensos —La capilla Nacional de la Inmaculada Concepción en Washington y la catedral de San Juan el Divino en Nueva York— cuentan con 110 y 115 dibujos respectivamente. Muchos de los proyectos conservan sólo uno o dos dibujos sobre el trabajo de los Guastavino. George Collins calculaba que la compañía trabajó en más de 1000 edificios a lo largo de su existencia. De este modo sólo hay dibujos de un 70% del número estimado de proyectos. Los documentos se clasifican por orden geográfico según estado en primer lugar, y luego ciudad —con núcleos urbanos mas importantes como Boston o Nueva York colocados primero. Cada carpeta contiene con frecuencia una pequeña parte de la correspondencia original del proyecto, detalles, e incluso fotografías del proceso constructivo.

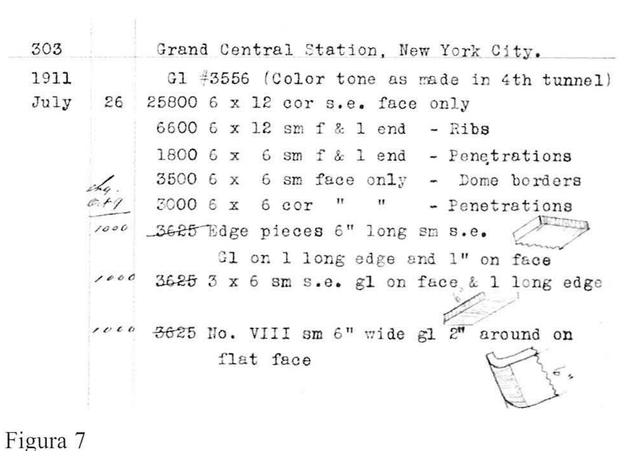

303 Grand Central Station, New York City.
1911 Gl #3556 (Color tone as made in 4th tunnel)
July 26 25800 6 x 12 cor s.e. face only
6600 6 x 12 sm f & 1 end - Ribs
1800 6 x 6 sm f & 1 end - Penetrations
3500 6 x 6 sm face only - Dome borders
3000 6 x 6 cor " " - Penetrations
1000 ~~3625~~ Edge pieces 6" long sm s.e.
Gl on 1 long edge and 1" on face
1000 ~~3625~~ 3 x 6 sm s.e. gl on face & 1 long edge
1000 ~~3625~~ No. VIII sm 6" wide gl 2" around on
flat face

Figura 7
Tarjeta de pedido de la fábrica para la Grand Central Terminal de los arquitectos Warren y Wetmore. Pedido nº 303, 26 julio 1911. (Archivo Guastavino-Collins)

La más amplia y completa fuente de información son las tarjetas de pedido de la fábrica, que recogen con detalle cada pedido de rasillas a la fábrica de Woburn, en Massachussets, desde el 27 de abril de 1900 (Fig. 7). El nombre y número del proyecto, la ciudad, el estado, las fechas y el tipo de edificio impresos en estas tarjetas, se han introducido en un archivo informático. Hay 875 proyectos en esta lista, que está clasificada tanto por el número de la obra como por la localización geográfica. Cada pedido o envío se refleja en tarjetas distintas, siendo de este modo posible contabilizar el número de en-

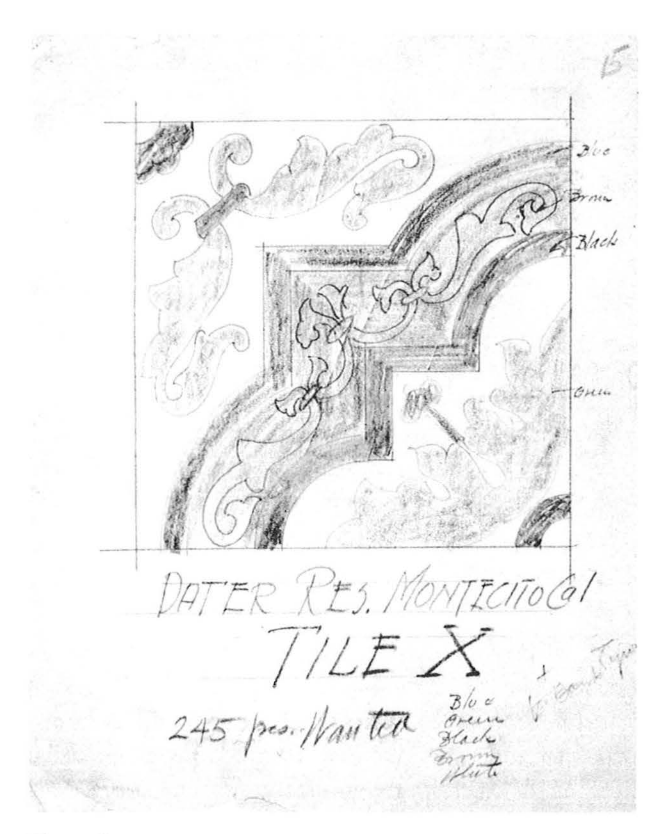


Figura 8
Diseño de la «rasilla X» para la Dater Residence en Montecito, California por Betram G. Goodhue. Pedido nº 465

víos de cada proyecto, sus fechas, y la producción de la fábrica (Figs. 8 y 9). Como ésta se abrió en 1900 los documentos no reflejan la primera década de actividad de la Compañía. La información sobre las primeras obras debe extraerse de los documentos de los proyectos, de las fuentes de la época, y de los relatos y noticias de testigos oculares. Aún así las tarjetas de la fábrica están incompletas. El Palacio de Justicia del condado de Pima en Tucson, Arizona y el bloque de pisos Graham de los arquitectos Clinton y Russell, situado en la Séptima Avenida entre las calles 116 y 117 en la ciudad de Nueva York, no se encuentran en la lista de pedidos de la fá-



Figura 9
«Rasilla X» para la Dater Residence en Montecito, California por Betram G.Goodhue.

brica. Tampoco aparece la célebre Iglesia Presbiteriana de Madison Square en Stanford de 1904, obra de White —hoy demolida—, a pesar de que el edificio se cita en la publicidad de la Compañía, y hay fotografías de la construcción en el archivo (Fig.10). Parece que pudieran faltar tarjetas, sin embargo los números de los proyectos impresos en ellas corren de modo consecutivo sin saltos. La guía de representante comercial de la *Guastavino Company* dice que ellos no venden rasillas a otros contratistas, es decir, que la fábrica producía rasillas únicamente para sus propios proyectos. ¿Acaso cantidades de

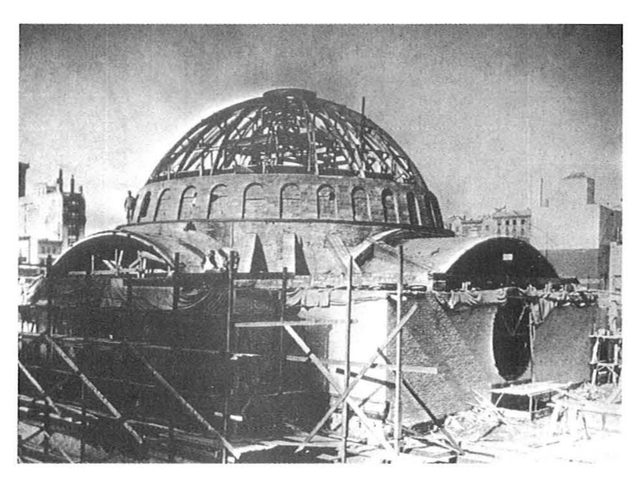


Figura 10
Iglesia Presbiterania de Madison Square, Nueva York, 1905. (Archivo Guastavino Collins)

rasillas se almacenaron en stock por la *Guastavino Company* o por los propios arquitectos, o quizá fueron incluidas con otros pedidos y por ello no aparecen en el listado?

Consecuentemente, un área importante de la futura investigación, es la identificación y documentación de los proyectos de Guastavino, tanto de los construidos como de los que no llegaron a materializarse. Sin una lista más completa, el ámbito y la diversidad de todos sus logros no pueden estudiarse en su totalidad. Existen además serios problemas de verificación. Los Guastavino proponían un sistema estructural y constructivo con unas características aparentes evidentes, pero el sistema no quedaba definido únicamente por estas características. La construcción cohesiva puede constatarse solamente observando el estado actual de la construcción, algo que con frecuencia no es posible tras la finalización del edificio. El único medio consistiría en efectuar ensayos agresivos en la propia estructura, o entrar en espacios de difícil acceso situados entre la cubierta y el extradós de las bóvedas. También sería posible verificar la intervención de Guastavino a través de cualquier documento original sobre el edificio, dibujos de los arquitectos, detalles, fotografías de la construcción, documentos administrativos, o referencias de la época sobre el edificio.

A Guastavino se le cita en la mayoría de las monografías de los arquitectos de finales del siglo XIX y principios del XX. Pero su nombre se emplea únicamente para referirse a los elementos constructivos, sin un análisis del papel que la construcción jugaba en el proyecto del edificio. No se ha investigado mucho sobre las técnicas constructivas de este periodo histórico, que fue sin embargo testigo de un profundo cambio en el mundo de la construcción, con la introducción de nuevos materiales como el hierro fundido y el acero. Éstos junto con otros avances mecánicos, hicieron posible que el tamaño de los edificios fuera en aumento. El negocio de la construcción en la época de Guastavino era altamente competitivo, y dado el prestigio de algunos de sus encargos, parece inevitable que su trabajo inspirara imitadores y competidores. Siendo, como era, el método de la construcción cohesiva bien conocido en España, es sorprendente que ninguna otra empresa trajera a otro arquitecto o constructor español a Nueva York. La *Guastavino Company* trató siempre de evitar la copia de su sistema patentando en Nueva York desde los elementos necesarios para su aplicación, hasta los detalles de su construcción. Poseían un total de 24 patentes de los Estados Unidos fechadas desde 1885 hasta 1939 —en el número dedicado a Guastavino del APT se reproducen de modo facsimilar.[7] De 1915 a 1917 la Guastavino Company tuvo éxito en la demanda contra un antiguo empleado y consiguió que éste cerrara la tienda que había estableci-

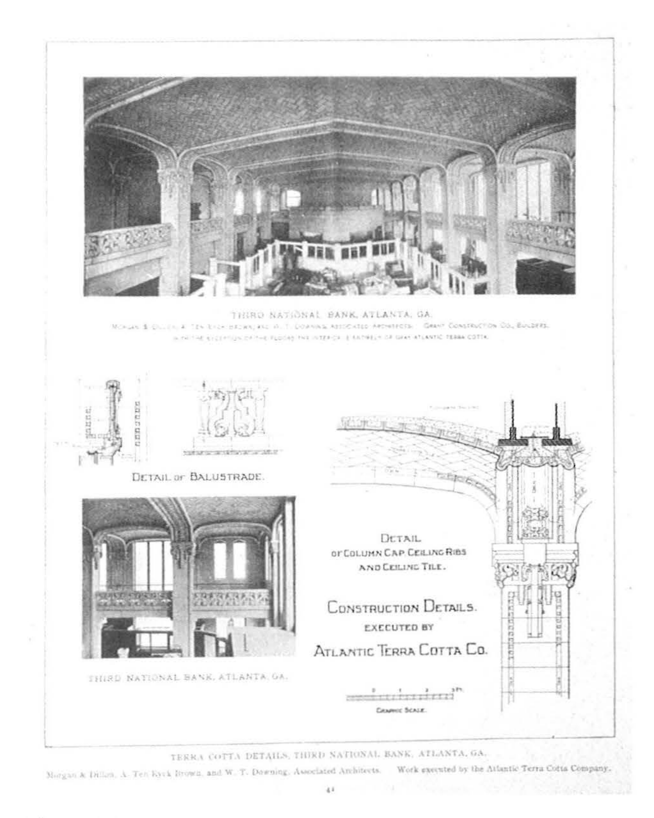


Figura 11
Third National Bank de Morgan & Dillon, A. Ten Eyck Brown, y W.T. Downing, arquitectos asociados, Atlanta, Georgia. (Publicado en el artículo de C.A. Thrall, «Terracota arquitectónica y su relación con la piedra», *Brickbuilder* 21 (febrero 1912): 41)

do de modo independiente. Desde 1900 Guastavino fabricaba sus propias rasillas, y el manual de representante explicaba que únicamente sus operarios podían ponerlas en obra y que no se vendían a otros contratistas. Muchas de las rasillas con distintos acabados de la colección Guastavino-Collins como las que permanecen en varios edificios, tienen el nombre de Guastavino estampado en su reverso. De este modo se podría verificar, de modo razonable, que un edificio de Guastavino fuera realmente ejecutado por él, si su nombre apareciese en una rasilla tomada del mismo.

Una imitación del aspecto del sistema Guastavino se construyó por la *Atlantic Terra Cotta Company*, una empresa de Nueva York, que en 1912 construyó unas bóvedas rebajadas en el interior del Third National Bank en Atlanta, Georgia —de los arquitectos Morgan & Dillon, A. Ten Eyck Brown, y W.T. Downing asociados. En el número de Febrero de 1912 del *Brickbuilder* se publicaron una fotografía del interior, y una sección (Figs. 11 y 12 para una comparación con bóvedas similares de Guastavino). La sección muestra bóvedas construidas con una delgada capa de hormigón con rasillas en forma de grapa embebidas, dispuestas según el apa-

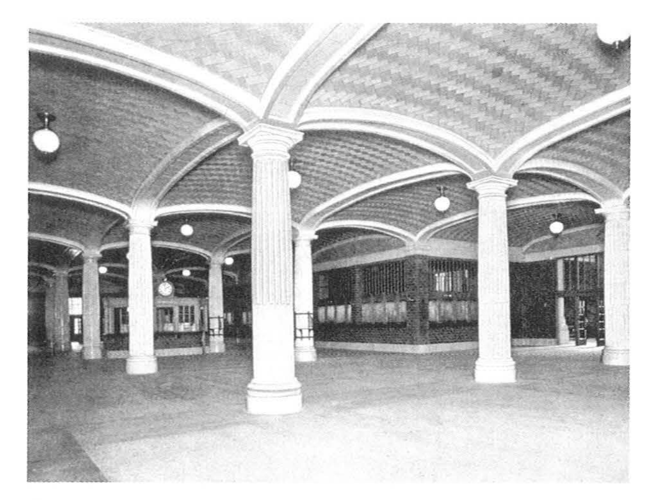


Figura 12
Terminal inferior de la estación del Noroeste de Frost y Granger, Chicago, Illinois, 1911. (Archivo Guastavino-Collins)

rejo de espina de pez típico de muchas de las ejecuciones de Guastavino.

Sin el dibujo del *Brickbuilder*, una fotografía de este interior, si permanece sin alterar hoy, podría convencer a muchos de que fue realizado por Guastavino. Las publicaciones de los últimos cinco años han expuesto varias preguntas sobre la autoría de Guastavino en la estructura de algunos edificios. En uno de estos casos, una iglesia en Scarsdale, Nueva York, diseñada por Hobart Upjohn, la cripta se parece, en las fotografías, a las bóvedas de muchos de los proyectos documentados de Guastavino. Desafortunadamente, mientras otras etapas están bien documentadas, la iglesia no tiene ninguna información sobre este aspecto particular de la historia de su construcción. El archivo Guastavino-Collins no posee ningún documento sobre este proyecto, ni se encuentra en el listado de las tarjetas de pedido de la fábrica, aún siendo un proyecto posterior a 1900. En este caso, como en el de muchos otros arquitectos, el archivo del arquitecto del edificio está también en el Departamento de Archivos y Dibujos de la Avery Library. Sin embargo los documentos de Hobart Upjohn no dicen nada al respecto. En esta iglesia en particular, no se puede ver el extradós de las bóvedas sin destruir parte del muro, siendo por tanto imposible una análisis visual de la cara no revestida de las bóvedas. Además la lista de los edificios documentados de Guastavino y sus arquitectos no contiene ningún proyecto de Hobart Upjohn. Conociendo que Upjohn construyó muchas iglesias durante el periodo de mayor actividad de la Compañía, parece sorprendente que no empleara el sistema Guastavino, pero aún no han aparecido documentos que así lo ratifiquen. Se podría caer en la tentación de dar por hecho que el proyecto de Scarsdale es obra de la Compañía, pero existiendo el caso de las bóvedas del banco de Atlanta, podría ser prematuro.

Otro grupo de fotografías llegó desde el Museo de Arte de Filadelfia, mostraban grandes bóvedas de arista con un acabado similar al de las obras de la *Guastavino Company* (Fig. 13). De nuevo no hay evidencia en los archivos o en las tarjetas de pedido de que Guastavino hubiera diseñado y ejecutado estas bóvedas. Los arquitectos del museo fueron Horace Trumbauer, C.Clark Zantzinger, y Charles L. Borie. Jr. Trumbauer había contado con el trabajo de Guastavino en algunos otros edificios, de entre los que destacan la capilla gótica en la Duke University. Las bóvedas son a prueba de incendios, algo muy deseable en un museo de arte, y la *Guastavino Company* habían trabajado mucho en Filadelfia. Hay por tanto muchas posibilidades de que estas bóvedas fueran ejecutadas por Guastavino, pero es aún necesario examinar el extrados de las mismas o encontrar documentos gráficos o escritos que lo verifiquen. Una copia de un dibujo de trabajo, recientemente recibido por la autora, muestra la intención de emplear las bóvedas de Guastavino, lo que reforzaría más aún la hipótesis de su autoría.[8]

Ahora que el trabajo de los Guastavino se reconoce de un modo más extendido, nuevos aspectos de su activi-

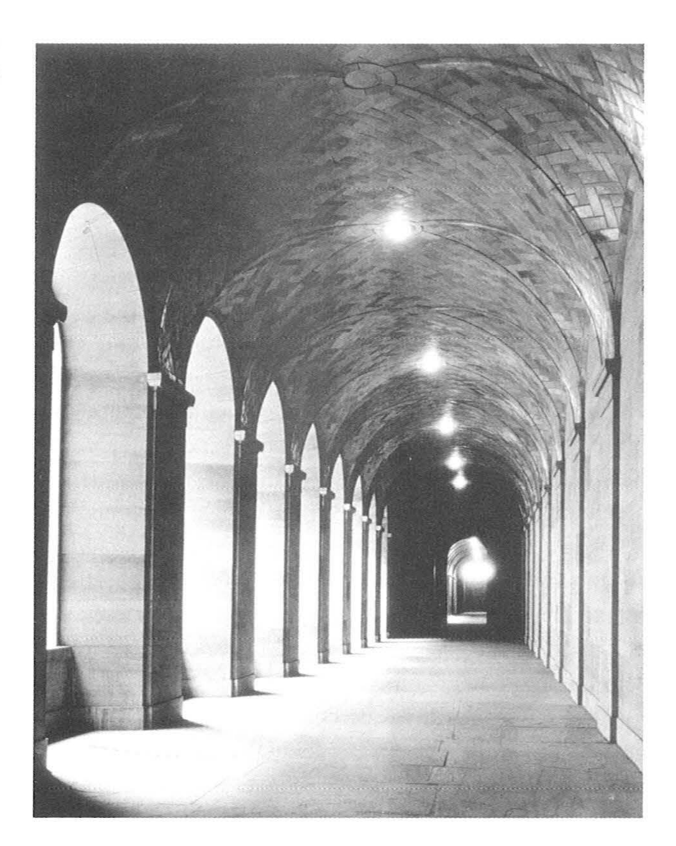


Figura 13
Museo de Arte de Filadelfia de Horace Trumbauer, C. Clark Zantzinger, y Charles Borie Jr., Filadelfia, Pennsylvania

R. G U A S T A V I N O C O.

I. WE MANUFACTURE AND SELL DIRECT TO CONTRACTORS:

1. AKOUSTOLITH Sound-absorbing stone (tile)
2. Glazed ceramic tile
3. Unglazed ceramic tile
4. AKOUSTOLITH Sound-absorbing Plaster
5. Acoustic Casting Plaster

) Except as stated in Section V - paragraph 2.

II. WE CONSTRUCT (OR INSTALL):

1. Rough tile arches and domes, barrel vaults, groined vaults etc. (With or without a soffit course of ceramic or acoustic finish tile).
2. AKOUSTOLITH Tile (against a scratch coat over wire lath furnished by others, or as stated in the above sentence).

III. WE SERVICE:

1. Every installation of AKOUSTOLITH PLASTER in the United States.

IV. WE DO NOT INSTALL:

1. Any kind of acoustical plaster. We sell acoustical plaster direct to the plasterer.

V. WE WILL NOT SELL:

1. AKOUSTOLITH Plaster to plasterers for experimental purposes.
2. Tile for use against timbrel vaults composed of layers of tile unless these vaults have been constructed by our own workmen. Occasionally contractors attempt to imitate Guastavino construction. We will not sell tile to contractors for this purpose, as we do not want our name connected with timbrel arch or cohesive construction work done by others.

GENERAL BUSINESS POLICIES

We will not ship AKOUSTOLITH Plaster for experimental purposes, nor for the plasterer to run samples with, unless our representative familiar with the proper methods of application can be present at the start of the work.

WE MUST KNOW:-

1. Name of the Building.
2. Name of the architect.
3. Number of square yards for which AKOUSTOLITH Plaster has been specified.
4. Name of General Contractor.
5. Name of Plastering Contractor.

GUARANTEE:

We guarantee all of our own work and everything we make, but we can not guarantee the workmanship of others. We have always considered that the best guarantee for a material is the reputation for satisfactory work.

Figuras 14 y 15
Instrucciones para los representantes comerciales, del Manual de representante de la *Guastavino Company*, entorno a 1941. (Archivo Guastavino-Collins)

dad se notifican desde lugares insospechados. Edward Bosley, en su reciente monografía sobre los hermanos Greene and Greene, arquitectos Arts and Crafts americanos, escribe sobre una estancia gótica proyectada por Charles Greene and Greene en 1929–1931, para su cliente Mortimer Fleishhacker.[9] El proyecto requería arcos tabicados y bóvedas con la rasilla Akoustolith, a ejecutar por la Guastavino Company, que estaba por entonces dedicada al extenso abovedamiento de la Grace Cathedral en San Francisco. Greene se puso en contacto con el representante de la Compañía en San Francisco a principios de 1931, y correspondencia fechada a junio de ese año, muestra que el representante y el ingeniero encargado de la construcción, estaban tratando el asunto de la resistencia necesaria de las bóvedas. El proyecto fue finalmente abandonado debido a una pérdida de interés por parte de Fleishhacker. Los documentos de este proyecto se encuentran en el archivo Greene and Greene, que forma parte de los Archivos de Diseño del Medio en la Universidad de California en Berkeley. Nadie habría podido pensar que Charles Sumner Greene, el maestro de la madera en el estilo Arts and Crafts, podría haber considerado el empleo de la construcción de fábrica cohesiva de la *Guastavino Company*. Sin embargo cuando su cliente le pidió bóvedas góticas el sabía a que representante acudir.

Esto plantea la cuestión acerca de los representantes comerciales de la *Guastavino Company*, las oficinas que poseían en todo el país, y el papel que desempeñaron obteniendo trabajos para la Compañía (Figs. 14 y 15). Unos 250 o aproximadamente un 25% de los 1000 proyectos estimados, se construyeron en el mismo Manhattan, por lo que parece lógico que los Guastavino, como varios de sus empleados, estuvieran constantemente en contacto con los arquitectos de Nueva York acerca de sus próximos proyectos. Ya desde muy temprano, la Compañía tuvo también oficinas de ventas en muchas ciudades por todo el país. Es interesante observar con detenimiento estos emplazamientos y compararlos con los proyectos conocidos, ya que esto podría conducir a nuevas obras sin documentar.

En el caso anterior de Charles Greene, el representante tenía su base en San Francisco, debido a la ejecución de bóvedas según el sistema Guastavino de la Grace Cathedral (Fig. 16). Las tarjetas de pedido recogen 48 encargos diferentes de rasillas a la fábrica de Woburn. Éstas van de abril de 1928 a julio de 1929, interrumpiéndose entonces por un largo periodo —debido presumiblemente a la crisis económica de 1929— hasta reanudarse en abril de 1931 y cesar definitivamente en septiembre del mismo año. Bosley escribe que a princi-

pios de 1931 el representante le comunicó a Greene que habría un «significativo descuento» si la obra podía ejecutarse aquella primavera, al mismo tiempo que la obra en la Grace Cathedral. Parte de este descuento podría haberse ofrecido debido a que ya había operarios experimentados en la zona, que habrían podido construir la bóvedas en la casa de Fleishhacker. Pero, ¿podría parte del descuento deberse, a que las rasillas resultaban más baratas si se pedían y transportaban juntas? Aunque Greene finalmente no realizó el pedido, se plantea la posibilidad de que pequeñas cantidades de rasillas fueran encargadas formando parte de otros pedidos pertenecientes a obras de gran escala. De este modo se podría explicar que algunos proyectos, en los que conocemos la intervención de Guastavino por otras fuentes, no quedaran reflejados en las tarjetas de pedido de la fábrica.

Además de la Grace Catedral y del proyecto para la casa de Fleishhacker, el otro trabajo restante de Guastavino en la zona de la bahía de San Francisco, es el Hearst Mining Building en la Universidad de California en Berkeley, que está fechado en 1909. Parece poco probable que los representantes de la oficina de San Francisco obtuvieran sólo estos tres proyectos, especialmente habiendo sido capaces de conseguir un encargo como el de la Grace Cathedral. ¿Cómo se consiguió el encargo de Berkeley? Dada la publicidad agresiva que

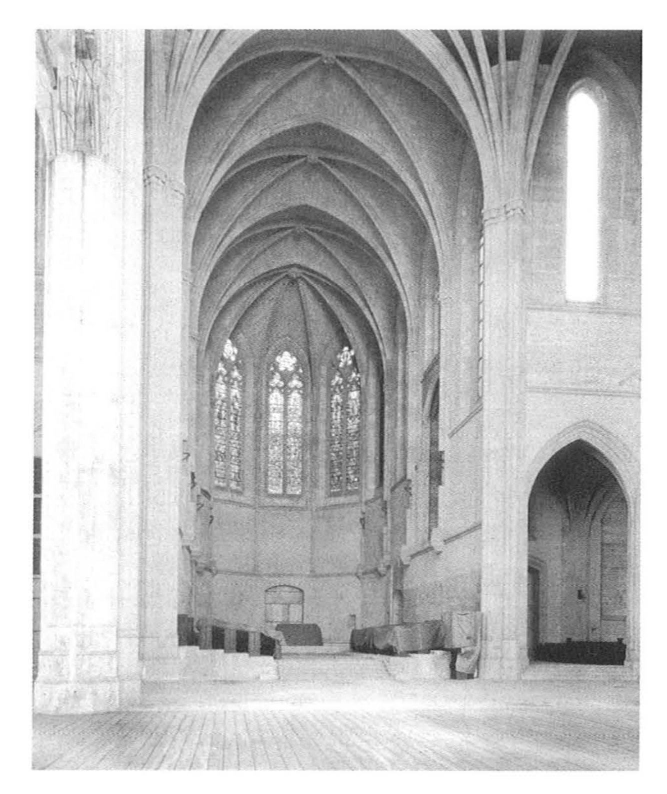


Figura 16
Grace Catedral de L. P. Hobart, San Francisco, California, entorno a 1930

la compañía empleaba en otros lugares, es difícil imaginar que no hubiera más proyectos en la zona norte de California; si se llegaron a construir o no es otra cuestión.

Los emplazamientos conocidos de otras oficinas de ventas de la Compañía podrían también reportar proyectos inesperados. En un anuncio de Guastavino publicado en el número del 7 de mayo de 1891 del *American Architect and Buildings News* aparece una lista de las oficinas en Providence, Rhode Island; Boston, Massachussets; Chicago, Illinois; y Milwaukee, Wisconsin; además de la oficina principal de la ciudad de Nueva York (Fig. 17). Por entonces los Guastavino estaban dedicados tanto a la construcción como al diseño de varios proyectos en la zona de Providence, que incluía las poblaciones de Newport y Pawtucket, y estaban aún trabajando en la Biblioteca Pública de Boston. La oficina de Chicago pudo haberse creado para la construcción del Pabellón Español en la Exposición Universal del IV Centenario del Descubrimiento de América, que se celebró en 1893 en Chicago. Los otros proyectos listados en el archivo Guastavino-Collins en Chicago, pertenecen al periodo que empieza entorno a 1908 y continua con el trabajo en la Universidad de Chicago. También había una oficina en Milwaukee, una ciudad unos 160 km al norte de Chicago, una distancia fácilmente salvable en tren desde esta ciudad. Sin embargo en la lista no hay proyectos en Milwaukee ni en el estado de Wisconsin hasta 1907–1908. Debió de haber trabajos o buenas oportunidades para conseguirlos para que la Compañía mantuviera dos sucursales en ciudades que distaban tan poco entre sí. ¿Qué tipo de proyectos podrían estar buscando los representantes en estas ciudades y en especial en Milwaukee?

Para una compañía con negocios en 40 estados y doce países extranjeros, la comunicación entre las distintas oficinas, los representantes, los arquitectos y los encargados de los proyectos, debió de ser esencial. A pesar de esto en el archivo Guastavino-Collins no se conservan fotografías de los procesos constructivos, ni informes, ni listas de empleados, ni libros de cuentas, ni presupuestos, ni correspondencia relativa a los proyectos. No hay ni ofertas ni cartas de los representantes. La Compañía confiaba en un grupo principal de operarios experimentados, pero sabiendo que la construcción era frecuentemente realizada por grupos de obreros locales, uno se pregunta cómo se los instruía. También nos preguntamos si cuando una sucursal se cerraba, la mayor parte de los documentos se tiraban en vez de enviarlos a la oficina principal.

Como muchas otras compañías la *Guastavino Company* era muy agresiva en su política comercial y en la publicidad de sus proyectos. El anuncio que apareció en las revistas *Américan Architect* y *Building News*, mos-

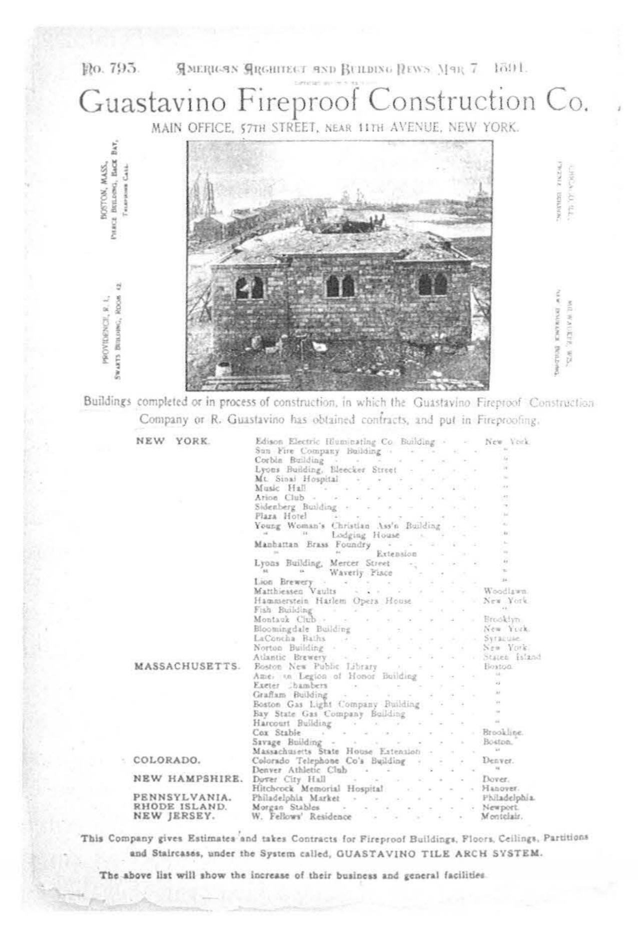


Figura 17
Anuncio de la *Guastavino Fireproof Construction Compan,* publicado en *American Architect and Building News* (7 marzo, 1891)

traba 41 proyectos «construidos o en proceso de construcción» en los que la *Guastavino Fireproof Construction Company* o el mismo Rafael Guastavino habían conseguido contratas. En los anuncios no se citaban algunas de las obras tempranas de Guastavino en Nueva York, en las que había ejercido de arquitecto, como las casas en la calle West 78th. Guastavino, siempre buscando encargos, escribió a McKim, Mead y White siete meses después, el 20 de octubre, —la carta se conserva en la Sociedad Histórica de Nueva York en la carpeta de la Biblioteca pública de Boston— solicitando trabajo.[10] De los 21 proyectos que cita en la misma, 16 eran nuevos, conseguidos en los meses comprendidos entre el anuncio en la prensa y la fecha de la carta. Esto muestra la capacidad de los representantes para conseguir encargos. Por ello es difícil pensar que la Compañía no estuviera también constantemente dedicada a buscar trabajos por medio de los contactos realizados por los empleados de las sucursales.

Con estos 57 proyectos distintos que aparecen en la publicidad y en la carta de 1891, Rafael Guastavino era obviamente un profesional muy activo, que aún ejercía de arquitecto, pero también en expansión en el campo de la construcción a prueba de incendio. Especialmente después de las desastrosas consecuencias de la gran destrucción provocada por el incendio de Chicago en 1871, las construcciones seguras y los materiales a prueba de incendios tomaron una enorme importancia en el negocio de la edificación.[11] Guastavino poseía un producto competitivo y trabajó con ahínco para sacarle todo el partido.

¿Qué fue entonces lo que llevó a Guastavino a aplicar su maestría con la construcción cohesiva y los morteros de cemento Pórtland, a las grandes cúpulas y bóvedas, que inmediatamente vienen a la mente cuando uno piensa en sus obras? Empujado por el auge económico del decenio de 1880, el desarrollo del estilo clásico del American Renaissance mostraba una esplendorosa visión de la vida y de la Arquitectura americanas en los ámbitos institucional, gubernamental, y privado. El primer edificio dónde la obra de Guastavino representa un elemento arquitectónico característico, es la Biblioteca Pública de Boston de los arquitectos McKim, Mead y White. Éste es el primer edificio de McKim según el estilo clásico. La Biblioteca Pública de Boston contiene diferentes manifestaciones estéticas y constructivas del sistema Guastavino; bóvedas vaídas, grandes bóvedas de cañón con casetones profundos, pequeñas cúpulas tendidas, rasillas vistas y con distintos acabados, al igual que superficies de los intradoses cubiertas con mosaico y revoco. Las obras de la biblioteca reportaron dinero para publicidad que Guastavino empleó, entre otras cosas, para realizar la foto en la que se le ve en lo alto de un arco, mientras a su alrededor varios operarios se encuentran construyendo las bóvedas subterráneas de la biblioteca.[12]

La relación con McKim, Mead y White resultó ser de un gran valor. En un plano meramente económico Guastavino trabajaría en más de 40 de los proyectos de su estudio. La *Guastavino Company* obtuvo contratos para muchas obras de estudios cuyos arquitectos principales —Cass Gilbert, York and Sawyer, Carrère and Hastings, Helmle and Huberty , entre otros— habían en algún momento trabajado en el estudo de McKim, Mead and White.[13] En un plano más profundo, la relación con este estudio, puso a Guastavino frente a algunas de las cuestiones de diseño mas candentes del momento, ante las que desarolló sus propias respuestas.

La *Guastavino Company* es sobretodo célebre por sus inquietantes y asombrosas cúpulas. Éste era el tema de un anuncio de 1915 titulado «Algunas cúpulas construidas por R. Guastavino Co.» que mostraba los alzados de 15 cúpulas famosas, como si de un retrato de grupo se tratara, indicando la luz de cada una (Fig. 18). Destacaba en tamaño y en luz la cúpula de la catedral de



Figura 18
Algunas cúpulas construidas por la *Rafael Guastavino Company,* 1915. (Archivo Guastavino-Collins)

San Juan el Divino, en la ciudad de Nueva York. La construcción de cúpulas en los Estados Unidos se había producido en edificios gubernamentales empezando por el Capitolio en Washington. Sin embargo el auge experimentado por la arquitectura, y el interés por modelos clásicos extendió su empleo a otros tipos de edificios. Varios artículos de la época trataban el modo en que estas cúpulas fueron construidas. La obra de Guastavino fue el tema central del segundo artículo de una serie dedicada a cúpulas. La primera parte de la serie describía las cúpulas de la catedral de Florencia y la de San Pedro del Vaticano —William Dunn, *Architectural Review*, enero de 1908—. La otra parte, escrita por el profesor de la Universidad de Columbia A.D.F. Hamlin, trataba sobre las cualidades deseables, y las dificultades de la construcción de cúpulas modernas.[14]

La primera cúpula monumental de Guastavino no se incluye en el anuncio de 1915. La Central Congregation Church en Providence, Rhode Island, es una obra temprana de John Mervin Carrère y Thomas Hastings, acabada en 1893 (Figs. 19 y 20). Carrère y Hastings habían sido empleados del estudio de McKim, Mead y White dede 1883–1885 y probablemente habían conocido la obra de Guastavino en la Biblioteca Pública de Boston. La fachada de la iglesia tiene un cierto aire español, especialmente en las torres cuadradas de las esquinas, rematadas con pequeñas cúpulas. El recargado exterior contrasta fuertemente con un interior reposado y lleno de luz. La nave y los brazos del transepto se encuentran cubiertos por bóvedas de cañón. El crucero se corona con una cúpula amplia y de gran altura en cuya base se abren pequeñas ventanas. Las bóvedas y la cúpula de Guastavino dan al interior el aspecto de una pequeña basílica romana. Dada la rotundidad del interior —inspirada por Guastavino— y la indecisa composición y los elementos españoles de la fachada —trabajo de unos arquitectos relativamente jóvenes— uno se ve tentado a ver en este edificio la influencia de Guastavino, un arquitecto maduro, sobre Carrère y Hastings. Ciertamente la mejor parte del edificio, el interior, debe muchas de sus cualidades a las bóvedas y a la cúpula de Guastavino.

Por su interés, la Central Congregational Church fue publicada en el número del 16 de diciembre de 1893 de la revista *American Architect and Building News*. La fachada se publica tanto en la edición americana como en la internacional, pero la vista interior de la cúpula se

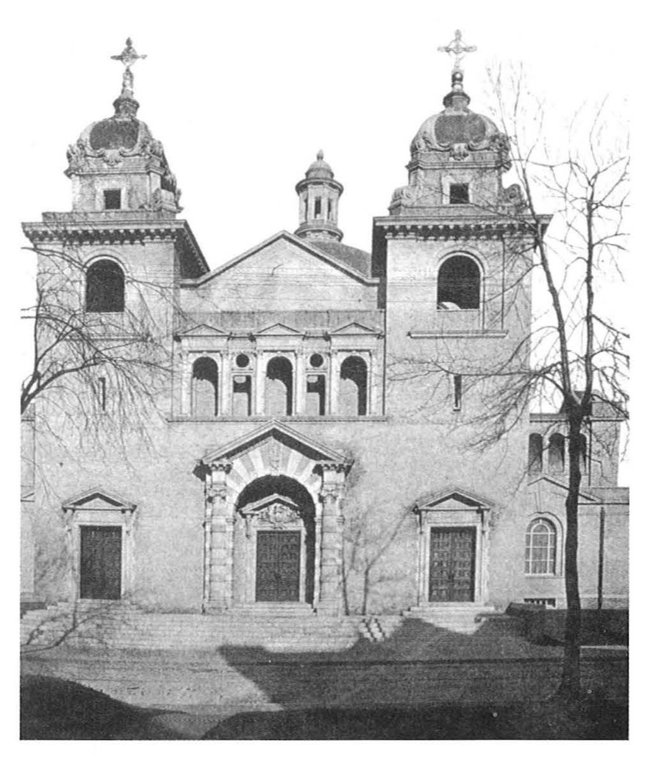


Figura 19
Exterior de la Central Congregrational Church de Carrère y Hastings, Providence, Rhode Island, 1893. *(American Architect and Building News,* 16 diciembre, 1893)

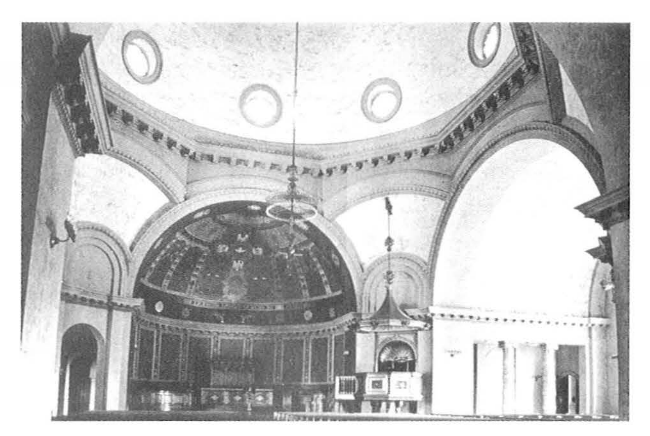


Figura 20
Interior de la Central Congregrational Church de Carrère y Hastings, Providence, Rhode Island, 1893. *(American Architect and Building News,* 16 diciembre, 1893)

puede ver únicamente en la edición internacional. También en este número, y en otros publicados durante la primavera de 1893, aparecen fotografías de la Exposición Universal del IV Centenario del Descubrimiento de América incluyendo vistas de las grandes cúpulas de la «White City» que compendiaban el repertorio y el estilo monumental del periodo del American Renaissance (Fig. 21). La cúpula de Guastavino en Providence no es un elemento dominante de la forma exterior de la iglesia, en comparación con el carácter escenográfico que tenían las cúpulas de la exposición. Él era por entonces el arquitecto del Pabellón Español en la exposición, y tenía una sucursal de la Compañía en Chicago. ¿No estaría acaso demostrando en la iglesia de Providence, que gracias al método de la construcción cohesiva, podía convertir en permanentes esas grandes cúpulas efímeras de la exposición, contruidas con cañizos y yeso sobre un armazón metálico?

La siguiente cúpula construida por Guastavino, aparece ya en el anuncio de las cúpulas. Se trata de la construida para la Universidad de Virginia en Charlottesville por McKim, Mead and White. El anuncio la sitúa en el quinto lugar de la lista con 21 m de luz, lo que representa un avance importante respecto a la iglesia de Providence. Prácticamente al mismo tiempo, McKim estaba proyectando la cúpula para la Low Library en el campus de la Universidad de Columbia en la ciudad de Nueva York (Fig. 22). Esta cúpula es mucho más rebajada que la de la Universidad de Virginia que es más esférica. Según cuenta Andrew Dolkart, en su tomo sobre la historia de Morningside Heights, la primera propuesta de McKim era una cúpula a base de cerchas metálicas y no una estructura de fábrica.[15] William Robert Ware, entonces decano de la Escuela de Arquitectura de Columbia, que no era partidario de McKim, criticó esa primera solución, alegando que las cerchas no se empleaban en las cúpulas históricas, y que por tanto eran inapropiadas. Wore sugirió una cúpula según el sistema Guastavino. McKim accedió, pero su contratista, Norcross Brothers, no lo hizo, proponiendo finalmente una cúpula de ladrillo que fue aceptada tanto por McKim como por Ware.

Poco después que la Low library se terminara, A.D.F. Hamlin, antiguo socio de Ware, y en aquel momento su asistente en la Escuela de Arquitectura, escribió el ensayo «The Moderm Dome», —la cúpula moderna— que se publicó en la revista trimestral de la Escuela de Minas de Columbia en 1898. Hamlin trató al final los problemas estructurales de la construcción de cúpulas, tanto en aquel momento como a lo largo de la Historia. También se refirió a los materiales y a los problemas a los que se enfretaban los arquitectos en el diseño de cúpulas. El artículo terminaba con un análisis de la cúpula de McKim para la Low Library. La elogió como una anticipo de los edificios sólidos y duraderos,

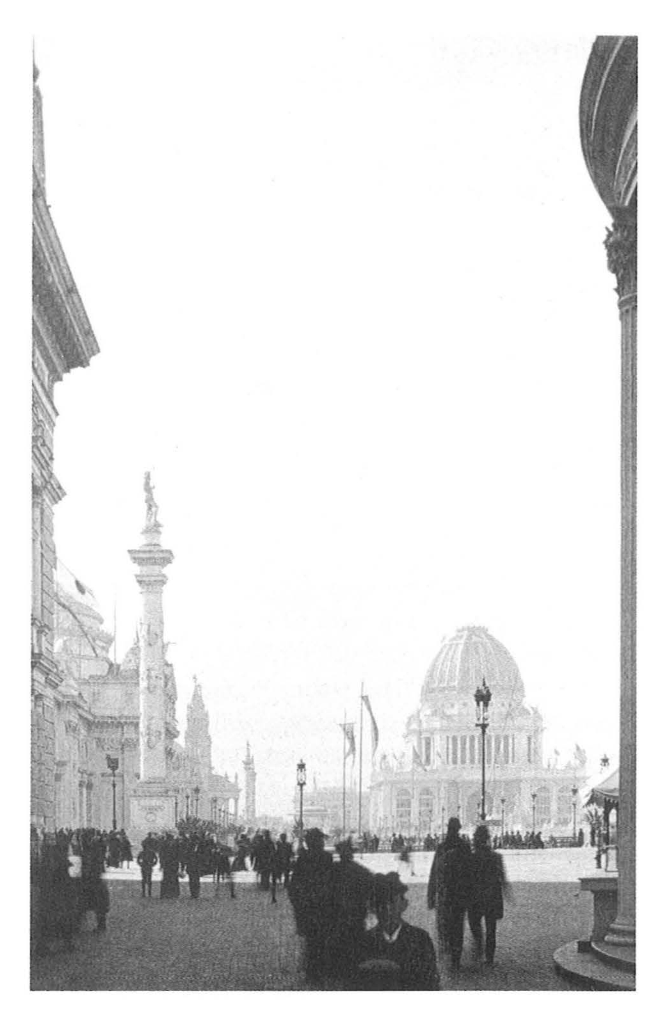


Figura 21
Parte posterior del Court of Honor y del edificio de administración de la Exposición Universal de Columbia. *(American Architect and Building News,* 4 noviembre 1893)

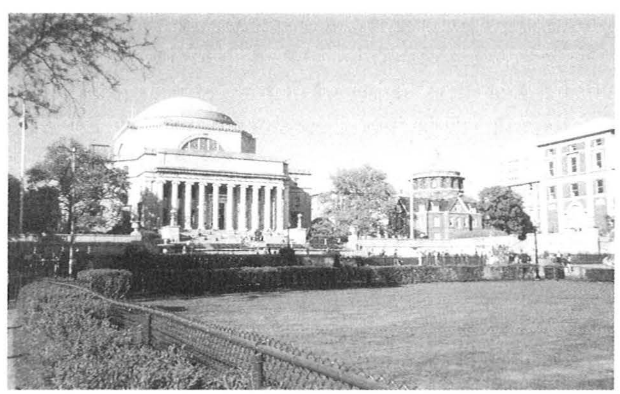


Figura 22
Vista del campus de la Universidad de Columbia con la Low Library, izquierda, y la capilla de San Pablo, derecha. (Foto Janet Parks)

y remarcó su popularidad, poniendo el ejemplo de otras dos cúpulas rebajadas, —una diseñada por McKim y otra por Charles B. Atwood— de la Exposición del IV Centenario, y de su modelo, el Panteón de Roma. Él también trató los problemas de este tipo de cúpulas, como la falta de visión cuando uno se acerca. Mientras admiraba el perfil de la Low Library y el efecto perspectivo que su elevada ubicación le proporcionaba, lamentó la existencia de una linterna que coronara el edificio.

Admitiendo que la Low library y otros pocos ejemplos, eran verdaderas cúpulas de fábrica, Hamlin también escribió:

> Una verdadera cúpula de fábrica está aparentemente por encima de las habilidades de los arquitectos o de las riquezas de las ciudades y estados que las han empleado. Las bóvedas de madera, cañizo y yeso son perecederas, y fácilmente se deterioran y se estropean, y están en constante peligro de incendio. Sin embargo son baratas y ligeras, pudiéndose construir en casi cualquier lugar o terreno con la ayuda maderos y cerchas.[16]

Presumiblemente, habiendo sido recomendado por Ware para la construcción de la cúpula de la Low Library, Guastavino conoció el artículo de Hamlin. Los inconvenientes sobre la construcción de cúpulas —ausencia de materiales a prueba de incendio, peso de los materiales, durabilidad— eran todas cualidades que la construcción cohesiva de Guastavino podía satisfacer con éxito, cualidades que se anunciaba con vehemencia en la publicidad de la Compañía.

El siguiente edificio cupulado que se levantó en el campus de Columbia fuel el Earl Hall, proyectado por McKim, Mead y White en 1901, y que sin ninguna duda tiene una cúpula de Guastavino, con mucha mayor elevación que la de la Low Library. Posee también linterna, haciendo así de la estructura una «verdadera cúpula», en las palabras de William Dumnn en su artículo de 1908. Este tipo era más apropiado a la planta y al carácter de un edificio como podía ser un templo griego, y también al tamaño, considerablemente menor que el del edificio dominante de la Low Library.

Al otra lado de la Low Library, la capilla de San Pablo de Howells y Stokes satisfacía todos los requerimientos de una cúpula moderna según Hamlin (Fig. 23). Sus arquitectos, al igual que Carrère y Hastings,habían trabajado para McKim, Mead y White, y fueron los primeros tras McKim en construir en el campus de Columbia. John Mead Howells era además familiar de William Rutherford Mead. Habiendo trabajado en el estudio de McKim, Stokes estaba al tanto del proyecto del campus de Columbia, y su capilla encaja a la perfección con el resto de edificios. En su autobiografía *Random Recollections of a Happy Life*, Stokes escribía:

> Era para nosotros un reto el construir, por primera vez en una iglesia de Nueva York, bóvedas y una cúpula proyectadas y construidas para sostenerse sin el uso de acero, que es casi una constante en la construcción actual de bóvedas y cúpulas.
> Era mi ilusión y la de mi compañero John Mead Howells, como arquitectos de la capilla, el proyectar y construir una iglesia que debiera combinar, de modo conveniente, duradero y en alto grado, belleza, sinceridad y amistad [...] Para este fin elegimos, como base del proyecto decorativo de los muros y bóvedas del interior, ladrillo, terracota y rasilla, cuidadosamente seleccionados atendiendo a sus acabados interesantes, y a sus agradable cromatismo. El efecto y cualidades de cualquier ornamento relacionado con la construcción, depende principalmente de la armonía y contraste entre materiales apropiados y atractivos, al igual que de un diseño interesante y una cuidadosa puesta en obra. [...] La construcción cohesiva, empleada de modo generalizado desde tiempos medievales, reduce al mínimo los empujes y por tanto también la necesidad de contrafuertes, zunchos metálicos o cadenas. A pesar de esto en la capilla de San Pablo se dispusieron tres zunchos de acero alrededor de la cúpula —pero sólo para cumplir con la normativa del New York Building Department.[17]

Hay dos carpetas con documentos sobre Guastavino en los archivos de Howells y Stokes de la capilla de San Pablo en la *Avery Library*. Contienen 66 documentos que narran y detallan el proyecto, diseño y ejecución del edificio, desde el 20 de abril de 1904 al 3 de enero de 1907. El encargo se había adjudicado a Howells y Sokes a finales de septiembre de 1903, y para el 20 de abril de 1904 la *Guastavino Company* envió a los arquitectos un presupuesto para su intervención en la construcción de la capilla. Aunque algunos elementos arquitectónicos venían ya dados por el estilo dominante del campus de Columbia, desarollado por McKim, Mead y White, la capilla fue proyectada en tan sólo seis meses. La corres-

pondencia entre la *Guastavino Company* y Howells and Stokes pone de manifiesto lo estrechamente que trabajaron las dos partes durante la construcción. La *Guastavino Company* estaba constantemente ajustando sus diseños para acomodarse a los cambios en la estructura. La aportación de la Compañía al edificio fue tanto arquitectónica como técnica. Las cartas trataban sobre las capacidades portantes de diferentes partes de la estructura, los anillos de hierro alrededor de la cúpula, el color y acabado de las rasillas, el diseño de los arranques de terracota sobre los que se asienta la cúpula, y muchas otras cuestiones. Hay también un grupo de cartas sobre el peso de la cúpula y en especial de la linterna —7 Tm—. Los arquitectos solicitaron el asesoramiento de Nelson Goodyear, un ingeniero, para confirmar que la estructura de la cúpula era adecuada. El artículo de William Dunn sobre construcciones cupuladas, da el dato del peso total de la estructura —cupulas interior y exterior, cubierta y linterna— de 267 Tm. También hacía notar con interés las estructuras relativamente ligeras de las cúpulas interior y exterior, —69 Tm y 106 Tm respectivamente. Los contemporáneos de Guastavino siempre mostraron interés en el hecho de que sus cúpulas pesaran tan poco.[18]

A pesar de que las cuestiones sobre las obras de Guastavino que se exponen en este artículo, no suponen un examen exhaustivo del trabajo de la Compañía, muestran la cantidad de información disponible sobre ellas. Estas ideas se desarrollaron empleando artículos y fotografías de la época, documentos impresos, y el archivo del propio Guastavino y los de los arquitectos con los que trabajó. Rafael Guastavino fue notablemente citado y bien conocido por sus contemporáneos, a pesar de haberse trasladado de España a Estados Unidos a mitad de su vida profesional. La historia de la *Guastavino Company* espera a que alguien, tras un cuidadoso análisis del la cronología y de las abundantes fuentes documentales disponibles, se decida finalmente a escribirla.



Figura 23
Vista de la capilla de San Pablo de la Universidad de Columbia, Nueva York. (Foto Janet Parks)

Notas

1. George R. Collins, «The transfer of Thin Masonry Vaulting from Spain to América», *Journal of the Society of Architectural Historians* 27 (octubre 1968): 176–201. Véase traducción del mismo en el presente catálogo «El paso de las láminas delgadas de fábrica desde España a América».
2. Ann Katharine Milkovich, *Guastavino Tile Construction: An Analysis of a Modern Cohesive Construction Technique.* M.A. thesis, Univesidad de Pennsylvania, 1992.
3. Janet Parks y Alan G. Neumann, AIA, *The Old World Builds the New: The Guastavino Company and the technology of the Catalan Vault, 1885–1962.* New York: Avery Architectural and Fine Arts Library y la Miriam and Ira D. Wallach Art Gallery, Universidad de Columbia en la ciudad de Nueva York, 1996.
4. *APT (Association of Preservation Technology) Bulletin* 4. Albany, New York, 1999.
5. Daniel R. Lane, *Putting Guastavino in Context: A Scientific and Historic Analysis of his Materials, Methods, and Technology.* MA thesis, Graduate School of Architecture, Planning, and Preservation, Universidad de Columbia, mayo 2000.
6. George R. Collins, «The transfer of thin masonry Vaulting»: 199–200.
7. *APT (Association of Preservation Technology) Bulletin* 4.
8. La autora quisiera dar las gracias a Robert J. Morrone, Director de recusos y operaciones del Museo de Arte de Filadelfia, por su entusiasmo e interés sobre los Guastavino, que lo guiaron a descubrir su papel en la construcción del museo.
9. Edward R. Bosley, *Greene & Greene,* Phaidon Press, 2000, 213–214 y fig. 57. Gracias también a Waverly Lowel, conservador de los Archivos de Diseño del Medio de la Universidad de California en Berkeley, por mostrarme la correspondencia entre Charles Greene, su ingeniero, y el representante de la *Guastavino Company.*
10. Documentos de la Biblioteca Pública de Boston de McKim, Mead and White, Sociedad Histórica de Nueva York. Quisiera agradecer a Mary Beth Betts, por entonces conservadora de las Colecciones de Arquitectura por permitirme estudiar esos documentos.

11. Daniel R. Lane, *Putting Guastavino in Context,* 18–24. Para un análisis de la industria y de los métodos a prueba de incendios en la época de Guastavino.
12. También en los documentos de la Biblioteca Pública de Boston de McKim, Mead and White, Sociedad Histórica de Nueva York.
13. La relación de Guastavino con Charles McKim es crucial para el éxito a largo plazo de la Compañía. Basándonos en la lista de los proyectos conocidos y de los arquitectos que trabajaron con los Guastavino, un 25% de los proyectos eran de McKim, Mead and White y arquitectos jóvenes, como Cass Gilbert y York and Sawyer, que empezaron sus carreras profesionales con ellos. La influencia continúa en el ejemplo de Edwitt Hewitt, que empezó su carrera con Cass Gilbert y que luego estableció su propio estudio en Minneapolis, dónde continuó el empleo del sistema Guastavino. La Compañía también debió su éxito a muchas colaboraciones con otros dos arquitectos, Ralph Adams Cram y Bertram Goodhue. Es interesante darse cuenta que todos los arquitectos que trabajaron con la *Guastavino Company* eran de la misma generación que Guastavino padre e hijo, así que se movieron dentro de la misma tradición arquitectónica y técnica.
14. William Dunn, «Principles of dome construction Part I», *Architectural Review* 23 (enero 1908): 63–73, y «Principles of Dome Construction Part II», (febrero 1908): 108–112. A.D.F. Hamlin, «The Modern Dome», *School of Mines Quarterly 5* , New York, Columbia University (1897): 109–119.
15. Andrew S. Dolkart, *Morningside Heights: A history of its architecture and development.* New York: Columbia University Press, 1998, 134 y 146–147.
16. A.D.F. Hamlin, «The modern dome», 117.
17. Isaac Newton Phelps Stokes, *Random recollections of a happy life* (mecanoscrito, 1941), 130, y página sin numerar añadida entre las 120 y 121. Drawings and Archives, Avery Architectural and Fine Arts Library, Universidad de Columbia.
18. Véanse cartas en los documentos de Stokes and Howell, caja 2, carpeta 22. Avery Architectural and Fine Arts Library, Universidad de Columbia. Véase también, William Dunn, «Principles of Dome Construction Part II», 111.

Génesis del *Ensayo sobre la construcción cohesiva* de Rafael Guastavino

Janet Parks

A menudo se piensa que la vida de un inmigrante es una vida anónima, pero no fue éste el caso de la de Rafael Guastavino. Desde su llegada al territorio americano hasta la creación de la muy próspera empresa con su nombre, Guastavino estuvo rodeado por un círculo de personas prestigiosas y fue mencionado en libros de arquitectura, artículos y anuncios. En 1876, Guastavino expuso «un gran número de proyectos de viviendas económicas para obreros y otros» como representante de España en la Philadelphia Centennial Exhibition, que conmemoraba el centenario del nacimiento de los Estados Unidos. Había 270 documentos expuestos por arquitectos americanos, pero muchos más por europeos. Entre los arquitectos americanos estaban H.H. Richardson, Frank Furness, Richard M. Upjohn, Ware y Van Brunt, mientras que los europeos estaban representados por Viollet-le-Duc, de Francia, William Burges y T.H Wyatt, de Gran Bretaña, Gottfried Semper, de Suiza, y Rafael Guastavino. Uno de los jueces era Richard Morris Hunt, que más tarde encargó a Guastavino la construcción de las bóvedas de la Biltmore House de Vanderbilt, en Carolina del Norte, uno de los primeros proyectos de Guastavino.[1] Los últimos años de la década de 1870 constituyeron uno de los periodos de menor inmigración europea a los Estados Unidos. Aunque Guastavino preveía grandes oportunidades desde el punto de vista económico, no emigró a los Estados Unidos hasta 1881, al comienzo de una nueva era de prosperidad que se prolongó hasta bien entrada la última década del siglo XIX.[2]

En 1892, Guastavino publicó su obra más importante, *Essay on the theory and history of cohesive construction* (Ensayo sobre la teoría e historia de la construcción cohesiva), un libro sobre la historia y la teoría de la construcción tabicada, editada por Ticknor and Sons en Boston. En 1893 apareció una segunda edición. Los orígenes de este libro se remontaban a los primeros esfuerzos de Guastavino para promocionar su capacidad como constructor entre un público de arquitectos norteamericanos para los que en su mayor parte era desconocido y, por lo tanto, muy escépticos acerca de las propiedades de su sistema. Tras una presentación inicial que le hace aparecer como si estuviera hablando de un «sueño», Guastavino cuenta que estuvo cinco años estudiando el panorama arquitectónico americano.[3] Continúa después diciendo que las objeciones iniciales a la construcción cohesiva implican cuestiones acerca de su adecuación técnica a un clima del norte. Presumiblemente durante este periodo Guastavino estuvo estudiando este problema, así como la fabricación de rasillas, las propiedades de los morteros locales, y otros factores necesarios para transferir esta técnica satisfactoriamente a un nuevo medio.

En 1887, Guastavino había convencido de tal manera a McKim, Mead y White de las ventajas de la construcción cohesiva que su nueva Biblioteca Pública de Boston, en la plaza principal de la ciudad, se llenó de arcos, bóvedas y cúpulas de Guastavino. La primera y más famosa fotografía de Guastavino en los Estados Unidos le muestra de pie sobre uno de los arcos en construcción de las bóvedas del sótano situadas por debajo del nivel de la acera. La prensa de Boston se había mostrado escéptica acerca de las bóvedas; uno de los primeros reportajes sobre el edificio terminado en el *American Architect and Building News*, la revista de arquitectura que se publicaba en Boston, llamaba la atención sobre el hecho de que incluso las bóvedas de Guastavino se mantuvieran en pie.[4]

Como consecuencia de la publicidad que recibió el edificio, Guastavino fue invitado en 1889 a hablar en

Traducción de Gema López Manzanares

dos ocasiones sobre la historia y la teoría de este sistema de construcción abovedada. La primera conferencia tuvo lugar en octubre de 1889 en la Boston Society of Arts, y la segunda, en el Thursday Club el 2 de enero de 1890. Los textos de sus discursos fueron rápidamente publicados en sendos números del *American Architect and Building News*. El de la Society of Arts apareció en el número del 9 de noviembre de 1889 (26: 218–220) y el del Thursday Club, el 22 de febrero de 1890 (27: 123–126). De los artículos en el *American Architect and Building News*, se deduce que las dos ponencias fueron distintas.

Una copia mecanoscrita de la primera conferencia se conserva en el archivo de McKim, Mead and White, en la New York Historical Society, en la carpeta correspondiente a la Biblioteca Pública de Boston. En el título de portada de la conferencia se lee que la ponencia está «dedicada a la Sociedad de las Artes, del Instituto de Tecnología de Massachusetts», institución que entonces se hallaba en edificios situados sólo a dos bloques de la nueva Biblioteca Pública de Boston, todavía en obras.

Hay varios temas interesantes relativos al texto mecanografiado. En primer lugar, la copia no se conserva en el archivo de Guastavino, sino en el de McKim, Mead and White, los arquitectos de la Biblioteca Pública de Boston. Teniendo en cuenta las relaciones entre ellos, los arquitectos pudieron sencillamente haber pedido una copia de la conferencia, dado el importante papel de Guastavino en el diseño de McKim. El manuscrito contiene un elevado número de correcciones y marcas de edición en el texto, que al menos se deben a dos manos diferentes, lo que sugiere que alguien, posiblemente en la empresa de McKim, pudo haber ayudado a Guastavino a editar su manuscrito. Una de las caligrafías es de estilo antiguo y similar a la de Guastavino, pero parece que también hubo otra persona implicada. Hay pequeñas pero numerosas diferencias entre el mecanoscrito y la versión publicada de la conferencia. Los cambios principales se refieren al desarrollo y expresión de su discurso, un proceso natural cuando las ideas se ponen por escrito. Además, el manuscrito y el artículo de la revista contienen más referencias locales a la arquitectura de Boston de las que aparecieron en el volumen impreso. El manuscrito contiene oraciones y fragmentos de frases transformadas después en sentencias completas en la versión impresa. Es comprensible y razonable pensar que Guastavino pudiera haber solicitado, en efecto, ayuda a la hora de redactar estas largas conferencias en inglés de contenido histórico y detalles técnicos. Así, pudo haber pedido a alguien de la oficina de McKim, posiblemente McKim en persona, que le ayudase a corregir su discurso público. Por entonces, Guastavino llevaba sólo ocho años en los Estados Unidos y había llegado como arquitecto, no como lingüista. Una carta de Guastavino a Stanford White con fecha de 8 de diciembre de 1898 sirve no sólo de ejemplo de su caligrafía, sino también de su forma de expresarse. Aunque el contenido de la carta es claro, su expresión en inglés no es tan fluida como sus ideas.[5]

Es interesante la relación entre el mecanoscrito, los artículos publicados en el *American Architect and Building News* y la versión publicada de *Cohesive construction*. El mecanoscrito de la primera conferencia conservado en el archivo de McKim, Mead and White, en la New York Historical Society, es un manuscrito que consta de dos partes. La primera parte contiene 18 páginas de texto que aproximadamente se corresponden con la versión publicada el 9 de noviembre. El texto completo de la primera conferencia aparece en las primeras cuarenta páginas del libro. La segunda parte del mecanoscrito, con su propio título de portada, se titula «Theory of "Cohesive Construction"» y no aparece en ningún número de *American Architect and Building News*. La segunda parte del mecanoscrito está impresa en las páginas 45 a 49 del libro. Por último, fragmentos del segundo artículo de la revista aparecen en los últimos apartados de *Cohesive construction*. Gran parte de *Cohesive construction*, de la sección 3 en adelante, es material nuevo. Hay complejas ecuaciones a aplicar en la construcción de diversos elementos constructivos cohesivos y largos párrafos en la parte IV que discuten las aplicaciones del método a los modernos tipos de edificios y los nuevos problemas constructivos.

La naturaleza de *Cohesive construction* es mucho más seria y extensa en su enfoque del tema. El texto completo del volumen impreso de *Cohesive construction*, publicado por primera vez dos años más tarde, sumaba en total 149 páginas con 59 figuras, 4 grandes láminas y una tabla. El volumen trata los siguientes temas: I. Introducción; II. Investigaciones e historia; III. Teoría y coeficientes de aplicación; IV. Aplicaciones modernas e importancia estética de la construcción cohesiva. El público del libro sería un grupo más selecto de lectores interesados en las complejas ecuaciones ingenieriles, tablas e ilustraciones. En una época donde no eran posibles las presentaciones con diapositivas, Guastavino habría estado limitado en la cantidad de información visual que podía mostrar en una conferencia pública y así daría especialmente la bienvenida a la oportunidad de publicar este material. Este libro tampoco estaba constreñido por limitaciones de tiempo o la capacidad de atención de su audiencia y así podía ser mucho más técnico e incluso hacer propaganda de su método. También, dada la lista de publicaciones de su editor, Guastavino pudo tratar el tema con más profundidad.

Guastavino tenía varios contactos en Ticknor and Sons, el editor de *Cohesive construction*. Ticknor and

Sons también publicaba la revista *American Architect and Building News*, donde sus conferencias habían aparecido por primera vez. Además, Guastavino había publicado anuncios de su empresa en la revista durante la década de los ochenta. En el prólogo del libro, Guastavino dice que fue invitado por el distinguido arquitecto de Boston, T. M. Clark, a pronunciar la conferencia «original» de 1889. Ticknor and Sons también publicó el libro de Clark, *Building Superintendence*; su décima edición, de 1891, produjo grandes beneficios al editor. Ticknor publicaba libros de temas muy variados; así, en su lista de publicaciones durante los años ochenta hubo varios sobre arquitectura, como el *Builder's Hardware* de Clarence H. Blackall (1890), *Artistic homes in city and country* de Albert W. Fuller (1886) y una monografía sobre la obra de H.H. Richardson en la Universidad de Harvard. Uno de los libros que más tiempo estuvo a la venta, *Safe Building* de Louis de Coppet Berg, incluía una mención a la construcción tabicada de Guastavino en la edición de 1889. Cuando Guastavino publicó la segunda conferencia en Febrero de 1890, el artículo que lo precedía estaba firmado por Berg.

El contenido fundamental de *Cohesive construction* de Guastavino era una sucinta explicación de un complejo problema técnico. Parece que el discurso básico podía ser alterado para pronunciarlo en otras situaciones. Cuando Guastavino habló en la Quinta Convención del American Institute of Architects, en la Exposición Universal de Chicago el 5 de agosto de 1893 (en la que participaba como arquitecto representante de España, como había sido en el Centenario de 1876), repitió el discurso básico, pero adaptándolo a la ocasión. Siempre con espíritu empresarial, Guastavino agradeció a su patrocinador la invitación, en este caso, el arquitecto, Alfred Stone, entonces secretario del AIA. El equipo de Stone, formado por Stone, Carpenter y Wilson, había contratado a Guastavino para la Banigan Chapel en Providence, Rhode Island. Guastavino menciona no sólo este proyecto, sino que promociona además sus últimos trabajos, que incluían la Central Congregational Church, también en Providence, reclamando para su cúpula de 54 pies de diámetro una «página en la historia del arte de la construcción americana». Continuaba diciendo que era imposible construirla en hormigón para esa dimensión, resistencia, espesor y en tan corto tiempo. Describe a Daniel Burnham, el gran arquitecto de Chicago, que era el líder del comité de arquitectura en la Exposición, como partidario de la construcción cohesiva por su empleo del yeso y escayola en el ornamento exterior de los edificios de la exposición. Este discurso es un primer ejemplo de la capacidad de Guastavino como autopromotor y su habilidad para cautivar.[6]

Esta corta historia bibliográfica del libro de Guastavino, *Cohesive construcción*, es muy biográfica. El libro refleja a Guastavino no sólo como arquitecto, sino también como hombre de empresa que trataba de promocionar su producto y sus ideas.

Notas

1. Véase John Maass, *The glorious enterprise: Centennial Exhibition of 1876 and H.J. Schwarzmann, Architect-in-Chief.* Watkins Glen, NY: American Life Foundation, 1973, 116-117.
2. Robert A.M Stern, Thomas Mellins, and David Fishman, *New York 1880: Architecture and Urbanism in the Gilded Age.* New York: Monacelli Press, 1999, 10-11.
3. Rafael Guastavino, *Essay on the theory and history of cohesive construction applied especially to the timbrel vault. Read before the Society of Arts, Massachusetts Institute of Technology, Boston.* Boston, Mass.: Ticknor, 1893, 18.
4. *American Architect and Building News* 48 (6 de abril de 1895): 3.
5. Epistolario de Stanford White, caja 13 (Drawings and Archives, Avery Architectural and Fine Arts Library, Columbia University).
6. Rafael Guastavino, «Cohesive construction, its past, its present, its future?» Conferencia para el Congreso de arquitectos en relación a la Columbian Exposition de Chicago de 1893.

El mundo invisible de la construcción acústica de Guastavino: historia, desarrollo y producción.

Richard Pounds, Daniel Raichel y Martin Weaver

La colaboración entre ciencia e industria dio lugar a principios del siglo veinte al nacimiento del negocio de la acústica arquitectónica, con la notable contribución de Wallace C. Sabine y la empresa R. Guastavino.

Los primeros descubrimientos de Wallace Clement Sabine, un físico de Harvard considerado como el fundador de la acústica moderna en arquitectura (Fig. 1), sirvieron de impulso a la aventura de la empresa Guastavino en este nuevo aspecto de la construcción. Aunque Rafael Guastavino había intentado introducirse en el creciente mercado de los materiales absorbentes acústicos, fue la colaboración entre su hijo Rafael y Sabine la que abrió un nuevo y próspero campo a la empresa Guastavino a través de la fabricación de las primeras piezas cerámicas con propiedades acústicas. La cerámica Rumford, patente suya, sólo se utilizó en edificios eclesiásticos, de todo tipo de cultos, y cayó en desuso con la aparición del Akoustolith, a base de cemento Portland, que también se empleó en espacios institucionales, comerciales e industriales.

La producción y puesta en obra de esta cerámica acústica, así como los avances de la Guastavino Co. en el campo de los morteros acústicos representaba ya una parte considerable del negocio entre finales de los años 20 y principios de los 30. Por esta época la empresa Guastavino alcanzó un máximo en el número de encargos de bóvedas tabicadas, al que siguió un posterior descenso y la liquidación final de la empresa en 1962.[1] Esta pérdida gradual de cuota de mercado se debió en gran medida al incremento del coste de la mano de obra, organizada en sindicatos de la construcción, a la gran depresión y a los avances técnicos en la fabricación del hormigón armado y de la construcción con estructuras de acero.[2] El éxito de la línea de productos acústicos de la empresa Guastavino ayudó a mantener el negocio durante los años del declive de la construcción tabicada.

Acústica arquitectónica moderna

La carrera de Sabine como experto en acústica comenzó en 1895, cuando el rector de la Universidad de Harvard le pidió que «hiciese algo» para corregir la deplorable acústica del recién inaugurado salón de actos del museo Fogg.[3] Fue aquí donde a lo largo de dos años Sabine investigó y reunió los datos que le llevaron al descubrimiento de la fórmula de la reverberación, que establecía una relación entre el volumen de espacio y la absorción necesaria para controlar dicha reverberación en un tiempo determinado. Utilizando como unidades de absorción unas butacas prestadas del vecino teatro Saunders, y tubos de órgano como fuente de sonido, además de un

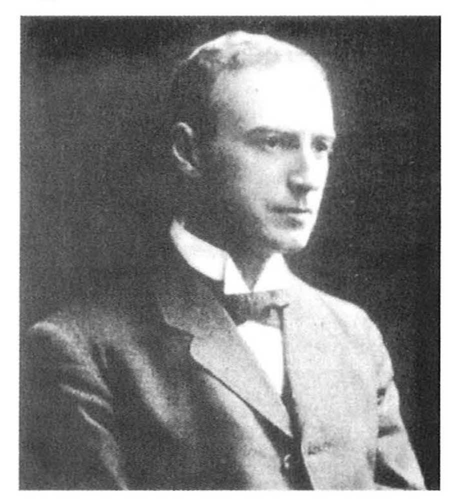


Figura 1
Wallace Clement Sabine, 1906. Wallace C. Sabine, *Collected Papers on Acoustics*. Cambridge: Harvard University Press, 1927

Impreso y traducido, con autorización, del original: «The museen world of Guastavino acoustical tile construction: History, development, production», *APT Bulletin* 30,4 (1999): 33-39. Traducción de Martín Navarro López.

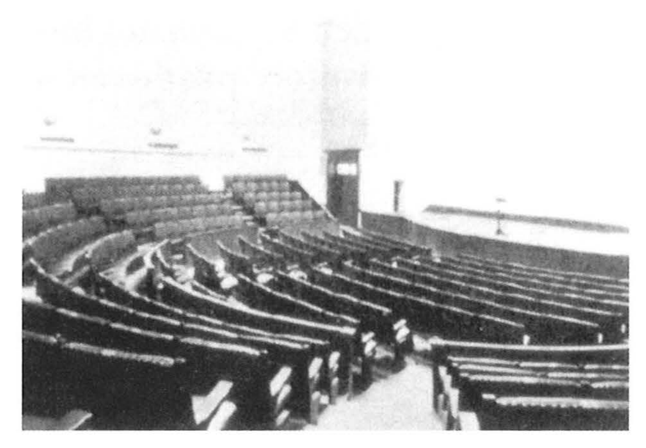
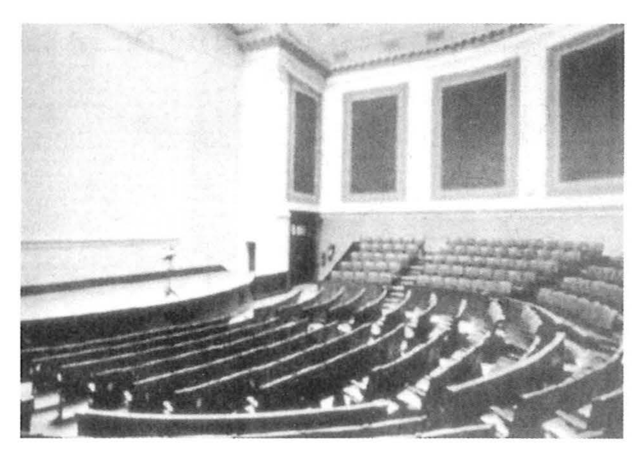



Figura 2
Sala de conferencias del Museo Metropolitano de Arte de Nueva York. La imagen de la izquierda muestra la sala tal como fue construida, mientras que la de la derecha, como fue modificada por Wallace Sabine. Wallace C. Sabine, *Collected Papers on Acoustics*, 1927

«cronómetro adecuado para tomar tiempos», Sabine llegó a registrar en el salón de actos una reducción del tiempo de reverberación de 5,62 a 1,14 segundos.[4]

Considerando una ventana abierta como un perfecto absorbente acústico y asignándole un coeficiente de absorción (SAC) de 1,0, Sabine fue catalogando poco a poco los SAC de los materiales y elementos constructivos habituales.[5] Una vez determinados los coeficientes de absorción de éstos, el tiempo de reverberación de un espacio concreto podía calcularse antes de su construcción. Sabine utilizó por primera vez su fórmula de la reverberación en un encargo de McKim, Mead y White para el Boston Symphony Hall en 1900.[6]

La fórmula de reverberación de Sabine se expresa de la siguiente manera:

$$T = 0{,}164\ V / A,$$

siendo:

T = tiempo de reverberación en segundos,

V = volumen de la habitación en m^3,

A = absorción de la habitación en metros cuadrados o sabins, y 0,164, una constante empírica en s/m.[7]

Esta fórmula es básicamente una función del volumen de la habitación dividida por el poder de absorción combinado de todos los acabados, el mobiliario, y los miembros de la audiencia en un espacio dado. En otras palabras, Sabine descubrió que, «permaneciendo el resto de los factores constantes, el grado en que la reverberación desaparece es igual al grado en que se absorbe el sonido».[8]

La fórmula de reverberación de Sabine tuvo un profundo efecto en la industria de los materiales de construcción acústicos. Proporcionó a los arquitectos un estándar de referencia que les permitió seguir diseñando edificios historicistas sin dejar que la función dominase la forma.[9] De este modo los arquitectos y constructores pudieron utilizar los SAC de los materiales de construcción para corregir las deficiencias acústicas inherentes a sus diseños sin alterar las configuraciones espaciales deseadas.

La excesiva reverberación en los lugares de reunión públicos dio lugar al nacimiento de la industria de la acústica arquitectónica a comienzos del siglo XX. Los arquitectos buscaban solucionar lo que había sido una constante fuente de bochorno y frustraciones. Era frecuente que en el proyecto de edificios academicistas y eclécticos los problemas acústicos se afrontasen a través de medidas correctoras una vez construidos. La geometría y materiales comúnmente utilizados en la construcción de estas arquitecturas resultaban habitualmente incompatibles con una buena acústica. Las cúpulas, las semicúpulas, las iglesias con bóvedas de cañón y los salones de actos semicirculares revestidos de mármol creaban espacios con una reverberación y una acumulación de sonidos intolerable. Ganada su reputación como experto en este campo, Sabine fue a menudo requerido para determinar las medidas necesarias que hicieran estos espacios funcionales.[10] Éstas normalmente consistían en la introducción de casetones en semicúpulas y bóvedas de cañón de superficie lisa que redujeran las concentraciones indeseables de sonido, o de tapices y tejidos adecuados que disminuyeran el poder reflectante de las paredes y así controlar la reverberación (Fig. 2).

Breves nociones de acústica

Cuando el sonido incide en la superficie de un muro es reflejado o absorbido por éste (y parcialmente transmiti-

do a su través si tiene baja densidad). La energía sonora absorbida por el muro se disipa en forma de calor. El sonido reflejado es la parte de la energía incidente que contribuye a la reverberación.

Si denominamos *I* al total de la energía sonora que alcanza un muro y *R* a la energía reflejada, la diferencia entre *I* y *R* es la energía absorbida por el muro (despreciando cualquier transmisión de sonido a través de éste). El coeficiente de absorción de sonido (SAC) se define como:

SAC = (I-R)/I = Energía absorbida por la pared/ Energía total incidente en la pared

Si la absorción es total, entonces el SAC es igual a la unidad. Si la reflexión es total (como en el caso de piezas cerámicas lisas o vidrio) y, por tanto, no se produce ninguna absorción, el SAC será igual a 0. Tal y como Vern O. Knudsen y Cyril Harris explicaron, el SAC es:

> La fracción de energía de una onda sonora que es absorbida (no reflejada) por el material. De este modo si ciertas ondas sonoras alcanzan un material, y el 55% de la energía acústica incidente es absorbido y el 45% reflejado, el coeficiente de absorción del material es 0,55. Cada pie cuadrado de este material es equivalente al 0,55 de una superficie perfectamente absorbente.[11]

Casi todos los materiales tienen valores entre el cero y la unidad. Los materiales no suelen tener un SAC constante. El valor de un SAC depende tanto de la frecuencia del sonido que incide en la superficie como del ángulo con que lo hace. Esto es debido en parte a la longitud de onda, que es función de la velocidad del sonido (1130 pies por segundo o 340 m/s) y de la frecuencia. La longitud de onda _, la frecuencia *f*, y la velocidad del sonido *c* están relacionadas por la siguiente ecuación: _*f* = *c*. De este modo una fuente que emitiese una onda sonora a 125 Hz (Hz = un ciclo por segundo) tiene una longitud de onda de 9,04 pies o 2,75 metros (1130 pies por segundo dividido por 125 Hz), a comparar con los 0,28 pies o 0,08 m que tendría una emitida a 4000 Hz. Es decir, a medida que la frecuencia aumenta por encima de cierta cantidad, las longitudes de onda comienzan a aproximarse a la escala de los detalles arquitectónicos y del mobiliario de los espacios, lo cual contribuye a la difusión y no a la absorción del sonido. Si la longitud de onda es grande en relación con la configuración de las superficies (125 Hz), la onda de sonido simplemente cumplirá las leyes de la reflexión. Por otra parte, si se reduce la longitud de onda (1000 Hz a 10000 Hz), ésta comienza a reaccionar con las texturas superficiales existentes dentro de la configuración espacial general.[13] Por razones similares, la dirección que una onda de sonido toma desde su origen también está relacionada con la frecuencia. Los sonidos de baja frecuencia tienden a irradiarse de manera uniforme en todas direcciones mientras que los de frecuencias altas tienden a focalizarse más (Fig. 3). Los valores SAC de muchos de los materiales habituales de construcción se hallan tabulados en las obras de consulta básicas sobre acústica (para las frecuencias de 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, y 4 kHz).[14]

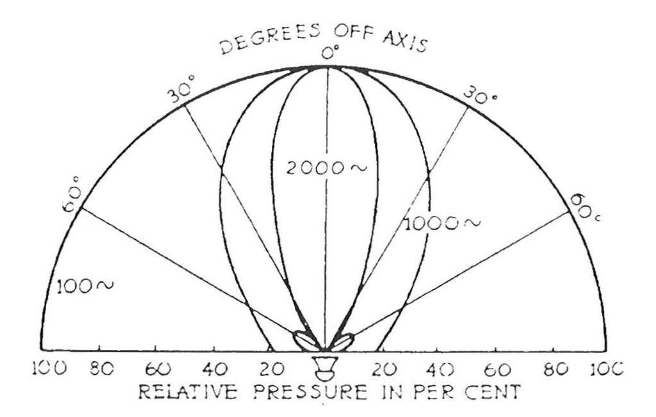


Figura 3
Distribución de presión alrededor de un eje de 12 pulgadas. Altavoz para frecuencias de 100 Hz, 1000 Hz y 4000 Hz. Vern Knudsen y Cyril Harris, *Acoustical Designing in Architecture,* Acoustical Society of America, 1978

Primeras invenciones de Guastavino

La patente nº 464.563 de Rafael Guastavino para un «Techo-suelo Cohesivo», fechada el 8 de Diciembre de 1891, era básicamente una mejora de una de sus primeras patentes, las cuales versaban sobre las aplicaciones fundamentales de su construcción tabicada.[15] Lo que esta patente posterior añadía a un sistema ya «resistente al fuego, económico, y decorativo», era una propiedad acústica que él denominaba «auto-absorbente» (self-deafening) en la solicitud de patente:

> El objeto de mi invención es idear un forjado cohesivo que posea una gran resistencia además de ser ligero y absolutamente resistente al fuego... y la forma particular de construcción que dotará a la estructura terminada de una propiedad auto-absorbente del sonido por la cual los ruidos producidos en cualquier piso del edificio en que mi invento sea aplicado no se transmitirán a las plantas superiores o inferiores.[16]

La diferencia principal entre esta patente y la primera consistía en un falso techo de rasillones planos suspendidos bajo una bóveda tabicada que formaba la es-

tructura sobre la que apoyaba el suelo superior de piezas cerámicas. La cavidad entre estas dos superficies contribuía a las pretendidas propiedades «auto-absorbentes del sonido» de la construcción.[17] También quedaban cavidades adicionales de espacio inerte entre las costillas transversales que sostenían el suelo superior de cerámica y la bóveda tabicada sustentante inferior. Otra característica de este tipo de construcción era la instalación de un suelo machihembrado fijado a unos rastreles de madera, apoyados encima y paralelos a las viguetas metálicas y, por tanto, perpendiculares a las costillas de rasillas sobre la bóveda tabicada (Fig. 4). El espacio entre los rastreles se llenaba con lana mineral.

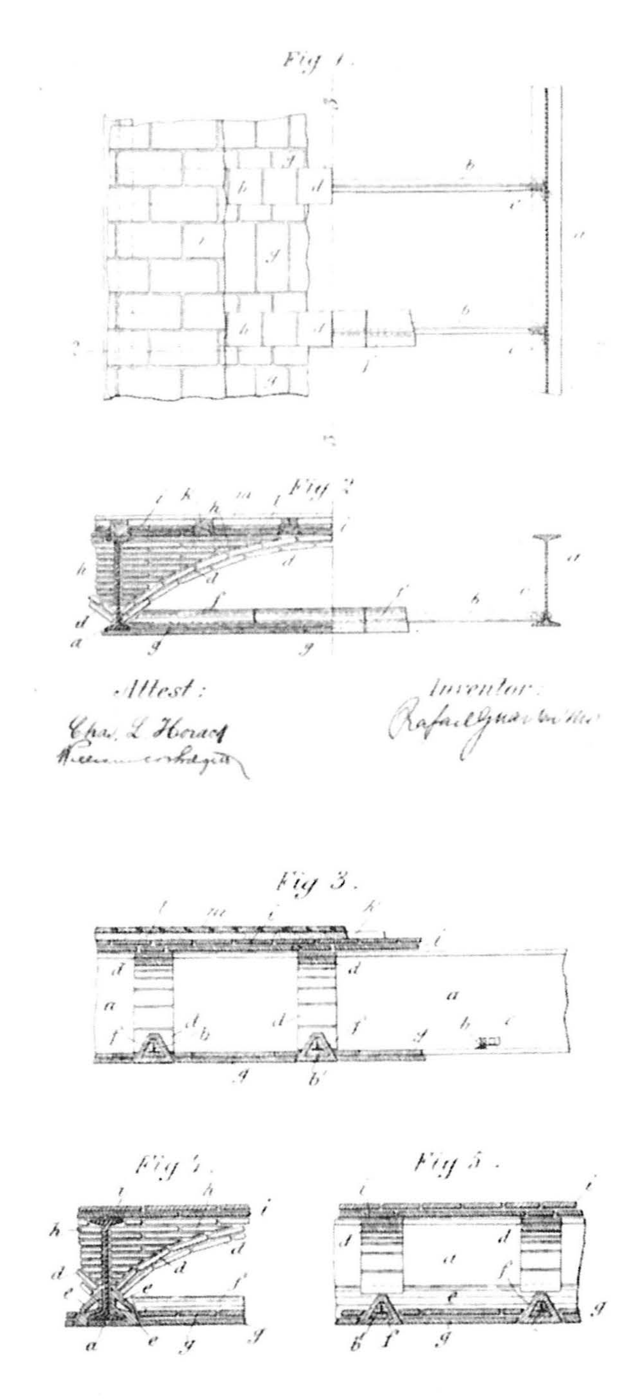


Figura 4
Patente nº 464.563 de los Estados Unidos: «Techo-suelo cohesivo», 8 de diciembre de 1891. Cortesía del Guastavino/Collins Archive, dibujos y archivos, Avery Architectural and Fine Arts Library, Columbia University

En general, el atemperamiento del sonido depende de la reducción de las vibraciones sonoras mediante la combinación de materiales porosos, flexibles y blandos y de la manera en que están unidos constructivamente. Idealmente debería haber una discontinuidad entre superficies comunes, ya sean forjados o particiones; la cavidad de aire entre estas superficies debería estar aislada con un material específico que absorbiese el sonido. Si se proyecta adecuadamente se pueden reducir con efectividad los ruidos transmitidos a través del aire y los sólidos.[17]

La construcción acústica «auto-absorbente» de Rafael Guastavino fue un intento de adaptar los métodos de la construcción en madera del siglo XIX a la realizada con elementos pétreos en la metrópolis moderna. Desdichadamente el diseño resultante adolecía de los mismos defectos que sus predecesores. Las costillas transversales características de este tipo particular de bóveda comunican el sonido entre plantas de forma parecida a las vigas de madera. Es más, la construcción con bóvedas tabicadas, debido a su comportamiento estructural como cáscaras ligeras, contribuye a perpetuar el sonido en vez de absorberlo. Tienden a actuar como un «tambor» o diafragma que reacciona en consonancia con el impacto. Quizás el detalle más efectivo para controlar el ruido, tanto aéreo como transmitido por los sólidos, del sistema patentado por Guastavino era el suelo de madera parcialmente suspendido. Éste proporcionaba una superficie elástica que resultaba eficaz absorbiendo impactos. De esta forma el suelo de madera reducía la energía de las vibraciones que alcanzaban la bóveda de debajo, mientras que el SAC de la lana mineral aumentaba la absorción del ruido de transmisión aérea.

Con anterioridad a los descubrimientos de Sabine, al principio de la década de 1890, no había ningún análisis cuantitativo disponible con que evaluar la efectividad de los métodos de construcción habitualmente utilizados para «absorber el sonido».

Génesis de las piedras Sabine: Rumford y Akoustolith

Durante el cambio de siglo, en el campo de la construcción de iglesias y catedrales el uso de tapices, tejidos y otros tipos de elementos absorbentes de sonido no era aceptable desde el punto de vista litúrgico o práctico. El

hecho de que las propiedades acústicas de la cerámica de Guastavino formasen parte integral del sistema constructivo resultaba atractivo a los arquitectos y al clero. El sistema Guastavino de construcción cohesiva permitía a los arquitectos construir abovedamientos pétreos «honestos» sin revestimientos ni elementos denominados de «espera» como en la construcción moderna de acero.[19] De hecho, los arquitectos Heins y Lafarge, que precedieron a Ralph Adams Cram en la catedral de San Juan el Divino de Manhattan, fueron en parte seleccionados por su énfasis en «el pragmatismo, la economía y el sentido común en la construcción».[20] Su intención de construir con el sistema de Guastavino solventaba múltiples asuntos conflictivos de estética, economía, y protección frente al fuego, al tiempo que dotaba a la arquitectura de la «sinceridad» que demandaban diversos sectores de la comunidad eclesiástica. Para arquitectos dogmáticos como Cram la única razón lógica de la construcción abovedada de Guastavino era que afrontaba el problema de la reverberación que plagaba los espacios sacros durante el cambio de siglo.

La cerámica Rumford: fábrica cocida en horno

El primer paso para la invención de la cerámica Rumford se dio cuando Cram, Goodhue y Ferguson encargaron a Sabine determinar los coeficientes de absorción de un típico abovedamiento de la empresa Guastavino con piezas cerámicas realizado en la capilla de la academia militar de West Point en 1911. Sabine averiguó que el abovedamiento tenía un SAC promedio de 0,033, una cifra cercana a los 0,038 de absorción de una pared de ladrillo sin pintar. Poco después, Rafael Guastavino hijo modificó una rasilla estándar para utilizarla en el abovedamiento de la Iglesia First Baptist de Pittsburgh, que también había sido diseñada por Cram, Goodhue y Ferguson (1909–1911). Aunque no se sabe en qué consistieron estas modificaciones, se duplicó el SAC promedio hasta 0,068.[22] Tras estos estudios iniciales y su presentación formal por Cram, Sabine y Rafael hijo se dedicaron durante dos años a desarrollar la cerámica acústica Rumford. El poder de absorción de ésta era unas seis veces mayor al de cualquier construcción pétrea contemporánea.[23]

Sabine y Rafael hijo patentaron conjuntamente la cerámica Rumford en diciembre de 1914, alegando la estructura porosa única de la pieza como característica principal. La patente explica que la estructura porosa consiste en una serie de poros intercomunicados de varios tamaños que «atraviesan la estructura rígida» de la rasilla de cara a cara. Se afirmaba que la superficie tipo concha del ladrillo normal es impermeable al aire y por lo tanto no resulta apropiada para el proceso de absorción del sonido, el cual requiere la dispersión de la energía a través del sustrato del material.[24]

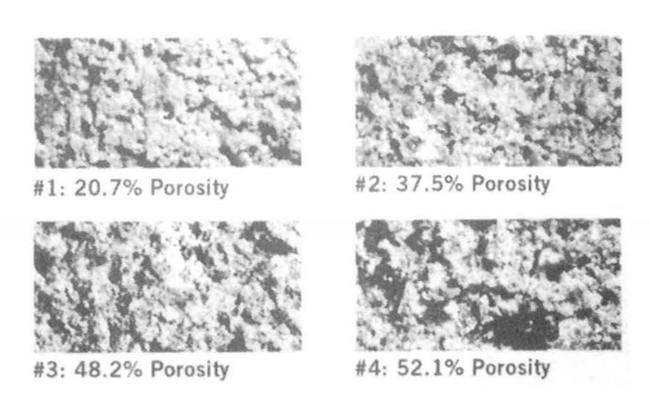


Figura 5
Ejemplos de cerámicas Rumford, ampliadas 7,5 veces. Fotografiadas por Richard Pounds

La cerámica Rumford se fabricaba a partir de una mezcla de 25% arcilla, 10% feldespato y un 65% de «tierra de contenido vegetal».[25] La estructura porosa la adquiría durante el proceso de cocción al quemarse la mayoría de la materia vegetal, formándose así los huecos. A pesar de que esta técnica resultaba novedosa para la fabricación de cerámica porosa, pronto se hizo obvio que no sería un medio de producción rentable ya que las rasillas eran poco compactas y se perdía una cantidad considerable de material durante la cocción. Los lotes procedentes del horno contenían unidades muy deformadas, excesivamente vitrificadas o insuficientemente cocidas y variaban considerablemente en densidad, color, porosidad y características de absorción del sonido (Fig. 5).

La cerámica Rumford fue diseñada específicamente para corregir la excesiva reverberación, el eco y la focalización del sonido, todo ello perjudicial para la escucha. Sabine y Guastavino, al describir estas correcciones, afirmaron que su objetivo era crear una rasilla capaz de absorber en alto grado las ondas sonoras, «especialmente aquellos sonidos cuyo tono estuviese en las tres octavas por encima del do medio». Los inventores explicaron que aunque la voz masculina generalmente se encuentra por debajo del do medio, los «sonidos que caracterizan la articulación del habla se encuentran principalmente en ese rango».[26] Las tres octavas por encima del do medio se corresponden aproximadamente con frecuencias de 500, 1000 y 2000 Hz, el rango en el cual la cerámica Rumford alcanza su máximo rendimiento.[27]

Cram, Goodhue y Ferguson utilizaron por primera vez la cerámica Rumford en la Iglesia de St. Thomas, en Manhattan, en 1913 (Fig. 6). Esta pieza tiene un SAC medio de 0,185, y sin embargo funcionaba mejor para frecuencias mayores como los 1000, 2000 y 4000 Hz,

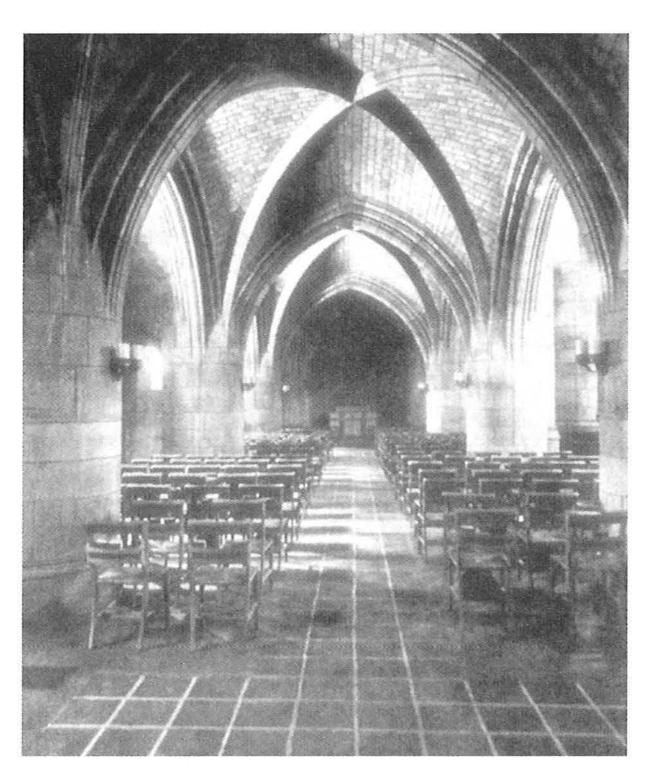


Figura 6
Interior de la iglesia de St. Thomas, 1913, Nueva York, del arquitecto Bertram G. Goodhue. Cortesía del Guastavino/Collins Archive, Dibujos y Archivos, Avery Architectural and Fine Arts Library, Columbia University

con SACs de 0,25, 0,26 y 0,22 respectivamente.[28] Cuando dejó de fabricarse Goodhue utilizó esta cerámica en, por lo menos, otros cuatro proyectos: la Iglesia First Congregational de Montclair, New Jersey (1915); la Iglesia de St. Bartholomew (1917–1919) y la Iglesia de San Vicente Ferrer (1918), ambas en Manhattan; y en el capitolio estatal de Nebraska en Lincoln (1916-1928).

Akoustolith: piedra artificial acústica

Akoustolith fue la segunda piedra artificial fruto del esfuerzo compartido de Rafael hijo y Sabine. El principal objetivo en el diseño del producto continuó siendo el lograr poros comunicados entre sí. Las principales diferencias entre Akoustolith y Rumford eran los componentes materiales y el método de fabricación. Sabine y Guastavino, estableciendo diferencias entre este material y su predecesor, afirmaron:

> En nuestra patente 1.119.543, concedida el 1 de Diciembre de 1914, mostrábamos básicamente una pieza cerámica apropiada para este uso. Sin embargo, los materiales cerámicos son caros y difíciles de fabricar, ya que los bloques porosos en dicha patente tenían una tendencia a deformarse cuando eran sometidos al calor necesario para fundir la masa que al enfriarse dotaba de resistencia y cohesión a la pieza terminada. El objeto de este invento es proporcionar un material adecuado para el fin descrito que sea sencillo y barato de producir.[29]

La clave para conservar la estructura porosa intercomunicada de este producto parecido al cemento fue la utilización de arena u otro agregado de tamaño uniforme. Para garantizar la formación de poros se eliminaban las granulometrías más pequeñas que de otra manera habrían rellenado los vacíos entre el agregado. Con este método el agregado estaría unido en un número limitado de puntos de contacto por una mezcla seca de cemento blanco de tipo Portland.[30]

Akoustolith tenía muchas más ventajas que la cerámica Rumford en cuanto a la absorción, durabilidad y precio de producción. Los lotes producidos se distinguían por su predictibilidad en cuanto a tamaño, color, textura y comportamiento acústico. El color y la textura dependían fundamentalmente del agregado y el cemento utilizado durante la producción y eran por tanto controlables. Los coeficientes de absorción del sonido además no estaban sujetos a las irregularidades del proceso de calcinación.[31]

Además de los poros intercomunicados, la piedra Akoustolith incorporaba una nueva característica denominada Aporosidad graduada»,[32] enfocada a las distintas necesidades de absorción de diferentes frecuencias y tonos:

> La posibilidad de absorber sonidos de diferentes tonos de nuestro producto depende en gran medida de las dimensiones de los poros que se encuentran entre las partículas que lo componen, y las dimensiones de estos poros dependen a su vez en gran medida de las dimensiones de dichas partículas. En otras palabras, un material compuesto por partículas comparativamente gruesas se adapta mejor a la absorción de sonidos más graves, mientras que un material compuesto de partículas más finas lo está mejor para la absorción de sonidos más agudos.[33]

Estas unidades de Akoustolith en particular, consistían en una capa de partículas más grandes en el lado visto de la pieza seguida de un agregado de granulometría más fina del lado por el que se fijaba.

El primer tipo de piedra Akoustolith, conocida como Grado A, era menos eficaz que la cerámica Rumford para frecuencias bajas, sin embargo su rendimiento superaba a ésta con creces para el rango entre 500 y 4000 Hz Esto era debido a que la superficie de la cerámica Akoustolith tenía una estructura porosa más densa, fruto de una mayor cohesión entre las partículas del agregado. La cerámica Rumford por su parte tenía una configuración muy irregular y poros abiertos, lo cual se hacía es-

pecialmente evidente en las profundas coqueras de la superficie (Fig. 7).

El éxito de la Akoustolith en espacios religiosos hizo posible la expansión del negocio acústico de Rafael Guastavino a los mercados industrial y comercial.[34] A finales de los años 30 y principios de los 40, Akoustolith ya se utilizaba en espacios industriales para controlar el sonido, como por ejemplo en la Fábrica Aeronáutica Naval de los EEUU en Filadelfia, Pensilvania (1937); en un laboratorio de pruebas de frenos hidráulicos en Hartford, Connecticut (1938); y en la Hamilton Standard Propeller Company en East Hartford, Connecticut (1938),[35] Las piezas utilizadas en estos edificios tenían un grosor de hasta 5 pulgadas —unos 12,7 cm— y valores de SAC hasta 0,92.

Rumford Sample #3



Standard Guastavino Ceramic Tile

Figura 7
Comparación de las cerámicas Guastavino, ampliadas 7,5 veces. Fotografía de Richard Pounds

Morteros Akoustolith, Plastacoustic y Castacoustic

En vista del éxito tanto de la cerámica Rumford como de la Akoustolith, el siguiente paso lógico en el desarrollo de productos de la empresa Guastavino fue el mortero acústico. El mortero Akoustolith satisfizo la demanda de un material acústico aplicado con paleta necesario cuando se deseaba conseguir una apariencia monolítica o en aquellos casos en que el uso de la rasilla era imposible, como por ejemplo, para realizar techos con curvaturas muy elaboradas o nichos decorativos.[36] El mortero Akoustolith se utilizó frecuentemente en hospitales, colegios y oficinas. Puesto que Akoustolith se obtenía a partir de cemento portland, su uso resultaba más apropiado para uso institucional que los morteros de yeso, debido a su resistencia en condiciones húmedas y a su superficie lavable. Los yesos Akoustolith también ofrecían la posibilidad de un acabado en color, lo cual era posible utilizando tintes o una «fina capa de pintura acústica».[37]

La línea de productos acústicos supuso una aventura empresarial única para la empresa Guastavino. El sistema de construcción tabicada patentado por la empresa Guastavino era exclusivo, ya que la compañía suministraba el material y el personal necesario para su instalación. Sin embargo, el mortero Akoustolith se vendía envasado directamente al contratista, en forma de mezcla seca a la que había que añadir una cantidad especifica de agua.[38]

Ahora bien, la calidad del producto de la empresa Guastavino dependía de la habilidad del contratista y de la medida en que se siguiesen sus especificaciones al aplicar el mortero. La preocupación de Rafael hijo respecto a este cambio se hizo evidente cuando ofreció asignar a cada proyecto un representante de la empresa que previo a la puesta en obra garantizase «una máxima eficacia acústica».[39] Las cuestiones principales a vigilar eran que se utilizase la cantidad correcta de agua y que el material no fuera esparcido excesivamente. De no tener en cuenta esto los poros quedarían taponados reduciendo la eficacia acústica del yeso. La patente del yeso Akoustolith reclamaba la novedad no sólo de las propiedades del material sino también del modo de aplicación.[40]

Debido a la naturaleza relativamente seca y porosa del mortero Akoustolith, Rafael hijo juzgó necesario introducir una capa intermedia de unión entre éste y el enfoscado de base. Dicha capa consistía en una «mezcla rica de cal hidratada y arena (en volúmenes aproximadamente equivalentes)», que se aplicaba con un grosor de 1/8 de pulgada —unos 2 mm— sobre el enfoscado.[41] Inmediatamente después de su aplicación, una capa de 2 pulgadas —5 cm— de Akoustolith debía «esparcirse con la paleta, con una presión suficiente para que se incrustase en la suave capa intermedia mezclándose con ella» (Fig. 8).[42] Era esencial que este proceso tuviera lugar mientras la capa intermedia estuviese aún húmeda. Aunque el objetivo principal fuese la cohesión mecánica, Guastavino no perdió la oportunidad de presentar el modo de aplicación como una mejora más en el comportamiento acústico del mortero:

> Por lo tanto se podrá apreciar que la estructura física obtenida es una combinación del material poroso (Akoustolith) y el aglomerante graso de la capa plástica (capa intermedia). En esta estructura, la superficie acabada expuesta permanece abierta hasta una profundidad de entre 3/8 —1 cm— y 1/2 pulgada —1,25 cm—, a partir de ahí, la porosidad decrece haciéndose los poros más pequeños debido a que la argamasa plástica de la capa intermedia se va introduciendo en ellos desde la parte trasera de la capa del acabado del material acústico (Akoustolith). El efecto obtenido consiste en tener los poros mayores en la superficie exterior expuesta de la pared o techo y los de menor tama-

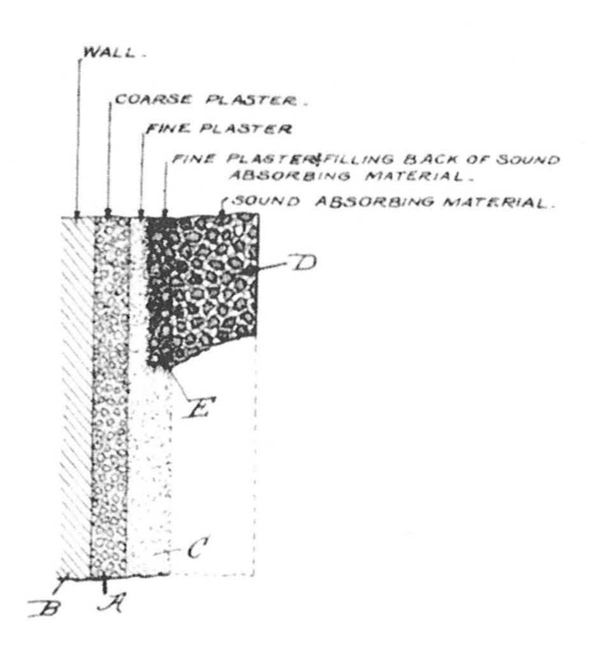


Figura 8
Patente nº 1.563.846 de los EEUU: «Yeso absorbente de sonido y su método de aplicación» 1 de diciembre de 1925. Cortesía del Guastavino/Collins Archive, Dibujos y Archivos, Avery Architectural and Fine Arts Library, Columbia University

> ño hacia el interior, decreciendo así la porosidad hacia el interior hasta que ésta se hace prácticamente nula.[43]

Esta innovación no impresionó ni a los arquitectos ni a los constructores, que dudaban de la necesidad de aplicar una capa de unión. A pesar de renunciar a trabajos, los cuales se encargaban a competidores cuyos productos no requerían este paso adicional, Rafael hijo continuó insistiendo en que se siguieran sus especificaciones. No parecía preocuparle el hecho de que los arquitectos y sus clientes estuviesen cada vez menos interesados en la adecuación científica del producto sino en los crecientes costes de la mano de obra.

Hacia 1935, la empresa Guastavino había desarrollado también una línea de productos de morteros acústicos de yeso, conocidos como Plastacoustic y Castacoustic. Su reclamo publicitario era el ahorro de tiempo, dinero y mano de obra. Irónicamente, la documentación del producto especificaba la aplicación del mismo proceso de acabado con dos capas que fue criticado en la promoción del Akoustolith. Por lo tanto, no está claro en qué se basaba el ahorro de mano de obra. El secado de cada una de las capas, previo a la aplicación de las siguientes (incluida la capa marrón) era un requisito imprescindible.[44]

Estos morteros acústicos elaborados con yeso no tuvieron el mismo éxito que el mortero Akoustolith a base de cemento. De hecho, no existe prueba alguna que sugiera siquiera que el Plastacoustic o el Castacoustic fueran patentados. Ambos productos eran básicamente el mismo, salvo por el hecho de que el Plastacoustic se aplicaba con paleta y el Castacoustic se utilizaba exclusivamente en molduras.

Absorción del sonido en iglesias

La dificultad principal en la acústica de una iglesia es satisfacer los requisitos impuestos por la música y por el discurso, que a menudo entran en conflicto. Para lograr una buena articulación silábica e inteligibilidad del habla se necesita mucha menos reverberación que en la música eclesiástica, la cual requiere un ambiente acústico más animado con un nivel de reverberación adecuado para el enriquecimiento armónico del coro y de la calidad tonal del órgano. Mientras que las características de absorción de sonido tanto de las cerámicas Rumford como de las Akoustolith eran adecuadas para sermones, han sido una constante fuente de disgustos para los músicos. Resulta curioso que las cerámicas fueran consideradas inicialmente por muchos miembros de la comunidad arquitectónica como «muy satisfactorias».[45] Sin embargo, la mayoría de los comentarios favorables al respecto se referían a la claridad con que se entendía al orador, al conferenciante, al predicador o al solista. En otras palabras, estas cerámicas resultaban especialmente aptas para controlar la reverberación del habla. Entre las primeras opiniones emitidas tan sólo algunas excepciones identificaron el problema de la excesiva absorción acústica de Akoustolith y Rumford. El arquitecto G. H. Hewitt de la firma Hewitt and Brown afirmaba lo siguiente acerca del empleo de cerámica Rumford en la Iglesia de Hennepin Avenue en Minneapolis:

> Tan sólo se ha dejado oír una objeción, y ésta ha sido la queja por parte de los músicos, tanto el organista como los miembros del coro, de las paredes que absorben demasiado el sonido. Si hubiese habido un poco más de resonancia se habrían obtenido excelentes resultados tanto para la música como para el habla...
> Si tuviese que diseñar otro interior me gustaría utilizar la cerámica de Guastavino, pero solicitaría un cuidadoso estudio para ver si se pudiera obtener un poco más de resonancia para contrarrestar la velocidad de absorción de la onda de sonido.[46]

Este problema se agravó con el desarrollo de la piedra Akoustolith, la cual tenía un SAC muy superior al de la Rumford. Hoy en día, las principales quejas acerca de los espacios interiores eclesiásticos de Guastavino

proceden de los responsables del programa musical. El sellado de las bóvedas de Guastavino para aumentar el tiempo de reverberación que resulta esencial en la música sacra se remonta a 1952, cuando se utilizó este método por primera vez en la Iglesia de Riverside, Nueva York, realizada con cerámica Akoustolith. Ya en 1915, Bertram Goodhue propuso esta clase de tratamiento «corrector» para la cerámica Rumford:

> Supongo que es un tipo de rasilla dado que es un producto de arcilla cocida. Desconozco en qué consiste la fórmula y tampoco quiero saberlo, pero lo que sí sé, es que es muy dura, porosa y que absorbe por completo el eco, su único posible defecto sería una absorción excesiva para la parte musical de los servicios religiosos. Sin embargo, pienso que si ese es el caso, se podría corregir aplicándole algún tipo de solución transparente que rellene los poros.[47]

Existen muchos otros aspectos que contribuyen a la escasa calidad del sonido en las iglesias, aparte del uso de las cerámicas Rumford y Akoustolith. El peligro es que se ignoren otros aspectos de un problema complejo, con la esperanza de que sólo con el tratamiento de sellado se obtenga una solución más inmediata y barata. Dado el reducido número de instalaciones con cerámica Rumford existentes, sepultar irreversiblemente bajo capas de sellado los restos de las históricas piedras de Sabine y Guastavino sería una gran pérdida.[48]

Notas

1. George R. Collins, «The transfer of thin masonry vaulting from Spain to America», *Journal of the Society of Architectural Historians 27* (Octubre, 1968): 200. El término *timbrel tile* es el nombre comercial que la empresa Guastavino dio a su sistema de construcción con bóvedas tabicadas. Este consiste en un método de abovedamiento con dos o tres capas de delgadas rasillas planas unidas con cemento portland. Las rasillas se disponían de forma que se contrapearan las juntas con las capas adyacentes de forma que la bóveda quedase fortalecida y facilitase su puesta en obra al no necesitar cimbra. Véase P.B. Wight, «The life and works of Rafael Guastavino», *Brickbuilder* 10:4–10; (Abril-Octubre 1901): 101.
2. Ibídem, 200.
3. Don Davis, «The Sabine reverberation equation and its offspring», *Audio* 62 (agosto de 1978): 57.
4. Wallace C. Sabine, «Architectural acoustics I: Introduction», *The American Architect and Building News* (7 de abril, 1900): 3.
5. Floyd R. Watson, *Acoustics of Buildings*. Nueva York: John Wiley & Sons, Inc., 1930, 28.
6. Wallace C. Sabine, «Architectural acoustics VII: Reverberation: Calculation in advance of construction», *The American Architect and Building News* (16 de junio, 1900): 83.
7. Wallace C. Sabine, *Collected Papers on Acoustics*. Cambridge: Harvard University Press, 1927, 103–104.
8. Ibídem, 10.
9. Emily Ann Thompson, «Mysteries of the acoustic: Architectural acoustics in America, 1800–1932», disertación de doctorado, Universidad de Princeton, 1992, capítulos 2–4.
10. Wallace C. Sabine, «Architectural acoustics: The correction of acoustical difficulties», *The Architectural Quarterly of Harvard University* (marzo 1912): 3–23.
11. Vern O. Knudsen y Cyril Harris, *Acoustical designing in architecture*. USA: Acoustical Society of America, 1988, quinta edición, 77.
12. Ibídem, 4–8.
13. Ibídem, 8.
14. Ibídem, 355.
15. Las primeras tres patentes de Rafael padre fueron las siguientes:
    Nº 323.930 Construcción de edificios resistentes al fuego, 11 de agosto, 1885 (tabiques/paredes).
    Nº 336.047 Edificios resistentes al fuego, 9 de febrero, 1886 (escaleras).
    Nº 336.048 Edificios resistentes al fuego, 15 de mayo, 1886 (tejados, suelos y techos)
16. Patente estadounidense Nº 464.563: «Techo-suelo cohesivo», emitida el 8 de diciembre, 1891, 1, líneas 17–28.
17. Para una descripción y referencias sobre las primeras aplicaciones que utilizaron esta teoría de atemperamiento de sonido consultar: Theodore H. M. Prudon, «Deafening: an early form of sound insulation», *APT Bulletin* 7 (1975): 5–13.
18. El sonido se comunica en una estructura básicamente de dos maneras: 1ª, sonido a través del aire; y 2ª, sonido a través de un sólido. En el sonido transmitido por aire, las ondas sonoras se propagan a través de un tabique por medio de una acción diafragmática. Esto tiene lugar cuando las ondas sonoras provocan que el tabique vibre hacia delante y hacia atrás como si se tratase de un diafragma, de manera que se comunica el sonido de un lado de la pared o del suelo al otro. Por el contrario, el sonido comunicado a través de sólidos es originado por un impacto o la vibración de maquinaria, y una vez transmitido a la fábrica del edificio, viajará a través de la estructura del mismo a una velocidad de unas diez veces la del sonido en el aire. (Véase Knudsen y Harris, *Acoustical designing in architecture*. 206).
19. Ralph Adams Cram, *My life in architecture*. Boston: Little, Brown and Company, 1936, 182–183.
20. *The New York Times* (25 de julio de 1891).
21. Knudsen y Harris, *Acoustical designing in architecture*. 375.
22. Neil Thompson Shade, «Tiles, masonry, and plaster products manufactured by the Guastavino Company between 1911 and 1933», Simposio del centenario de Wallace Clement Sabine, en *Journal of the Acoustical Society of America* (5–7 junio de 1995): 61.
23. Wallace C. Sabine, «Architectural acoustics: building material and musical pitch», *The Brickbuilder* 23 (enero 1914): 4.
24. Aunque el origen del nombre «cerámica Rumford» se desconoce, es posible que Sabine sugiriese a los dos pro-

pietarios de la patente que homenajeasen al científico e inventor del siglo dieciocho Benjamin Thompson (1753–1814), bautizando la cerámica con su nombre. Thompson, nacido en América y partidario de la soberanía británica, huyó a Inglaterra al comienzo de la Revolución Americana. Más adelante, se le concedió el título de Conde von Rumford por sus servicios al Sacro Imperio Romano (véase Cyril M. Harris, *American architecture: an illustrated encyclopedia.* Nueva York: W.W. Norton and Co., 1998). La investigación de Rumford sobre la teoría del calor como forma de energía creada por fricción, fue la base de uno de los principios fundamentales de la absorción del sonido: la disipación de energía sonora en forma de calor en materiales porosos como la cerámica Rumford (véase Knudsen y Harris, *Acoustical designing in architecture.* 75–76). Probablemente, el motivo por el cual el Conde Rumford es más conocido, es por su diseño de una eficiente chimenea que lleva su nombre.

25. Patente estadounidense Nº 1.119.543: «Paredes y techos para auditorios», emitida el 1 de diciembre de 1914, 2, líneas 117–119.
26. Patente estadounidense Nº 1.119.543, 1, líneas 50–58.
27. 1 Hercio (Hz) es igual a 1 ciclo por segundo.
28. N. T. Shade, «Tiles, masonry, and plaster products»: 64; Tabla 1.
29. Patente estadounidense Nº 1.197.956: «Materiales absorbentes del sonido para paredes y techos», emitida el 12 de septiembre de 1916, 1, líneas 20–33.
30. Ibídem, 1, líneas 63–86.
31. Los SACs del Akoustolith: 125 Hz: 0,06; 250 Hz: 0,13; 500 Hz: 0,38; 1000 Hz: 0,52; 2000 Hz; 0,52; 4000 Hz: 0,36 (Véase N.T.Shade, «Tiles, masonry, and plaster products»: 64; Tabla 1).
32. Patente estadounidense Nº 1.197.956, 2, líneas 5–6.
33. Ibídem, 1, líneas 103-110; 2, líneas 1–4.
34. Algunos ejemplos de instalaciones eclesiásticas en las que se utilizó la cerámica Akoustolith son: Iglesia del Sagrado Corazón, Washington, D.C, Arquitectos Murphy & Olmstead (1922); Catedral de San Juan el Divino, Nueva York, Arquitectos Cram y Ferguson (1911-1942); Templo de Isaiah, Chicago, Ill., Arquitecto Alfred Alschuler (1923–1924); Capilla de la Universidad de Princeton, Princeton, N.J., Arquitectos Cram & Ferguson (1927); Capilla de la Universidad de Chicago, Chicago, Ill., Arquitectos Bertram G. Goodhue (1927–1928); Iglesia del Heavenly Rest, Nueva York, N.Y., Arquitectos Mayers, Murray & Phillip (1928); Iglesia de Riverside, Nueva York, N.Y., Arquitectos Pelton, Allen & Collens (1930).
35. Ver el Archivo Guastavino/Collins, Dibujos y Archivos, Biblioteca Avery de Arquitectura y Bellas Artes, Universidad de Columbia.
36. Frederick S. Merrit, *Building Construction Handbook.* Nueva York: McGraw-Hill Book Company, 1958, sección 17, 12.
37. *Sweets catalog of building construction*, 1940.
38. Esto se hizo principalmente con objeto de conservar el monopolio de la empresa Guastavino sobre el oficio de las bóvedas tabicadas, y también para asegurar la integridad de su sistema de abovedamiento a través de un control minucioso de la homogeneidad del material y de la mano de obra empleados en su instalación.
39. Ver el catálogo de Guastavino Akoustolith, Archivo Guastavino/Collins, Dibujos y Archivos, Biblioteca Avery de Arquitectura y Bellas Artes, Universidad de Columbia.
40. Patente Nº 1.563.846 de los EEUU: «Mortero absorbente de sonido y modo de aplicación», concedida el 1 de Diciembre de 1925.
41. Recomendaciones típicas grabadas en las bolsas de yeso Akoustolith de 100 libras fabricadas en la planta de Woburn. Esto parece contradecir las recomendaciones originales de la patente que instaban a mezclar Auna cantidad muy pequeña de arena» con la cal.
42. Patente Nº 1.563.856 de los EE.UU, 1, líneas 100–104.
43. Ibídem, 2, líneas 1–16.
44. Véase el catálogo de Plastacoustic en el Archivo Guastavino/Collins, Dibujos y Archivos, Biblioteca Avery de Arquitectura y Bellas Artes, Universidad de Columbia.
45. Véase carta de Albert S. Gotlieb a Rafael Guastavino, fechada el 20 de Mayo de 1920, el Archivo Guastavino/Collins, Dibujos y Archivos, Biblioteca Avery de Arquitectura y Bellas Artes, Universidad de Columbia. Estos comentarios llegaron a raíz de la solicitud por parte de Guastavino en 1920 a los arquitectos de su opinión respecto a sus productos acústicos.
46. Véase carta de G. H. Hewitt a R. Guastavino fechada el 3 de Abril de 1920, Archivo Guastavino/Collins, Dibujos y Archivos, Biblioteca Avery de Arquitectura y Bellas Artes, Universidad de Columbia.
47. Carta de Bertram G. Goodhue a la señora Arthur Molesworth, 17 de Mayo de 1915, Papeles de Goodhue, Dibujos y Archivos, Biblioteca Avery de Arquitectura y Bellas Artes, Universidad de Columbia. Estos comentarios se realizaron a medida que los trabajos se desarrollaban en tres iglesias de Goodhue en las que se utilizaba la cerámica Rumford: Iglesia de St. Bartholomew, Nueva York, N.Y.; San Vicente Ferrer, Nueva York, N.Y., y la Iglesia First Congregational de Montclair, N.J.
48. En total existen 10 lugares donde se aplicó la cerámica Rumford, sin incluir la Iglesia First Baptist de Pittsburgh, Pa. (1909–1912) que se considera el prototipo de aplicación de la cerámica porosa Rumford.

La cúpula para San Juan el Divino de Nueva York de Rafael Guastavino

Luigi Ramazzotti

En 1888 el Obispo Henry Codman Potter puso en marcha un proyecto que la diócesis de Nueva York persigue desde hace tiempo. Surgido de la búsqueda explícita de la obra memorable, las vicisitudes de San Juan el Divino revelan las ambiciosas intenciones de sus promotores: en Manhattan se construirá la catedral más grande del mundo. Pero esto no es suficiente. La exaltación de los valores que se sustraen a la grandilocuencia de las dimensiones, y que son el supuesto previo de un consenso general, se anuncia en la vena ideológica más sutil que simboliza la iglesia como una «casa de oración para todas las naciones».

En una ciudad que se manifiesta como un gran «crisol» de lenguas y etnias, la utopía asume un valor específico. El solar estaba situado, no por casualidad, en la manzana comprendida entre la Avenida Amsterdam y la Calle 112, en Morningside Heights, al sur de Harlem: una zona urbana convertida, ya en los últimos decenios del siglo XIX, en centro de reunión de numerosas comunidades de inmigrantes. Un mundo complejo, rico en tensiones y esperanzas, que se escoge y representa en la obra. El carácter abstracto de la referencia ideal se atenúa en la concreción del programa: se dedicarían siete capillas a los principales grupos étnicos de Nueva York.

La empresa tuvo una evidente carga simbólica: al tiempo que reclamaba la atención de los especialistas, estimuló el interés unánime de la opinión pública. En este clima, en 1888, se convocó el concurso para el proyecto de la catedral de San Juan el Divino. Entre las sesenta propuestas presentadas se preseleccionó la de los arquitectos George Louis Heins (1860–1907) y Christopher Grant La Farge (1862–1938); el 27 de diciembre de 1892 se colocó la primera piedra.

El proyecto vencedor, influido por sugerencias románicas y bizantinas, constituía un ejemplo «audaz y florido» de eclecticismo, en sintonía, por otra parte, con la orientación de los demás participantes en el concurso. La planta de cruz latina, caracterizada por una nave amplia y compacta y por dos pequeños transeptos con ábsides, tenía unas medidas fuera de lo común: una longitud de 158 m a lo largo del eje principal de la nave y un crucero de 29,9 m. La evidente voluntad de conferir un carácter monumental a la obra se explica en la dilatación de las dimensiones. Ésta sería la causa de las sucesivas dificultades de orden constructivo; una especie de némesis que acompaña a todas las vicisitudes, todavía sin resolver.

El crucero, cubierto por una vasta cúpula sobre tambor y a la que se superponía una gran torre piramidal de base cuadrada, constituía el centro de la composición y estaba destinado a convertirse en el banco de pruebas de los proyectistas. La solución constructiva proyectada por La Farge (el principal arquitecto del edificio) es de un interés notable: cuatro gigantescos arcos de granito, sostenían la cúpula y la torre, y se contrarrestaban por medio de ocho contrafuertes. Sin embargo, la organización constructiva encuentra los primeros e insuperables problemas en la cimentación, debido a la presencia de arena y de capas freáticas. Los trabajos continuaron en la cripta, el presbiterio y el ábside, donde se terminaron dos de las siete capillas previstas. En esta primera fase, la Rafael Guastavino Company ya trabajó en la obra, habiéndosele adjudicado la construcción de la obra de fábrica en ladrillo; el procedimiento que se utilizó es el característico de la empresa, el «Guastavino System of timbrel vaults», (Sistema Guastavino de bóvedas tabica-

Impreso y traducido, con autorización, del original «La cupola per St. John the Divine a New York do Rafael Guastavino», *Lo specchio del cielo,* Roma, (1997): 277–291. Traducción de María Teresa Valcarce Labrador.

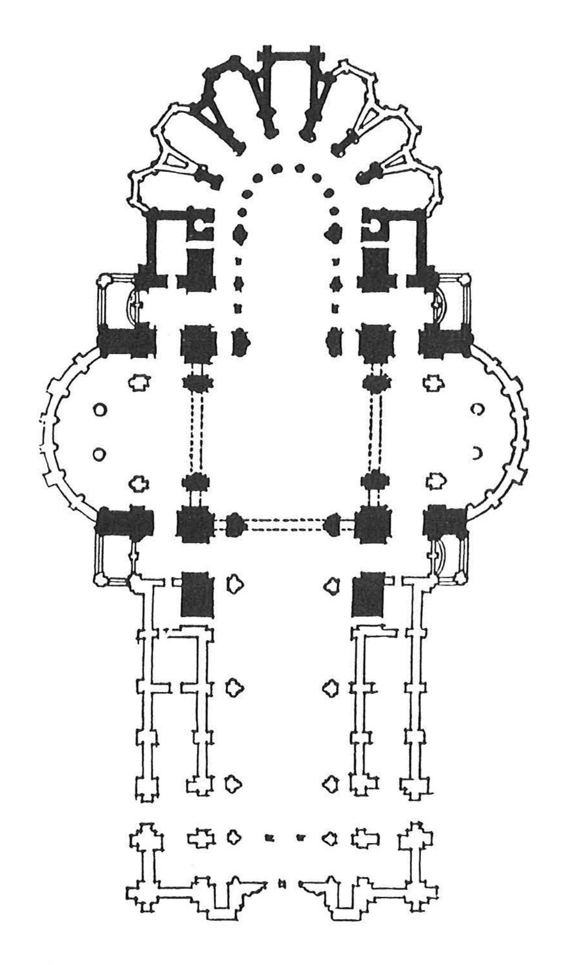


Figura 1
San Juan el Divino, planta de la catedral según el proyecto de 1892 de George Louis Heins & Christopher Grant La Farge (en negro las partes realizadas antes de 1909)

das) patentado y que permitiría resolver la cubrición del crucero.

Probablemente La Farge, en su planteamiento arquitectónico, infravaloró la entidad y naturaleza de los problemas constructivos que surgirían cuando se realizase la cúpula del crucero, tanto por las grandes luces, como también por las desfavorables características del terreno (no previstas en la fase inicial del proyecto). Los trabajos continuaron en un clima de creciente desconfianza; las opciones arquitectónicas y constructivas se pusieron en entredicho por motivos de orden técnico y por razones ligadas a un cambio estilístico. Cambio que atañía entonces a una parte autorizada de la opinión pública, ya fuera laica o eclesiástica. Contra la creciente ola del gusto imperante, en ese momento favorable a retomar el estilo de la arquitectura gótica, La Farge, en un escrito remitido a la prensa en abril de 1907,[1] sólo pudo oponer una apasionada defensa de su obra y de las ideas que la sustentaban. Al mes siguiente se publicó en *American Architect* una carta, cuyo autor anónimo firmó con el seudónimo de Candidus. Se trataba de un documento decididamente hostil, que atacaba el proyecto no sólo desde el punto de vista de la coherencia estilística y formal, sino también desde el de la solución constructiva: «[...] la mayor parte de la enorme estructura constituye un perjuicio inútil, superfluo, en una catedral gótica; este grave error se ha cometido al cambiar un posible proyecto bizantino bueno por uno gótico malo».[2]

Se anunciaba una consecuencia de la primera parte de la historia: Heins murió en 1907 y se nombró a Ralph Adams Cram (1863–1942) arquitecto consultor y, pocos años después, en 1911, La Farge es relevado del encargo. El final de la obra se confió al estudio de Cram & Ferguson. En este delicado momento de transición, el verano de 1909, se le encomendó a la empresa Guastavino la tarea de cubrir el gran vacío comprendido entre los cuatro arcos de granito.

La construcción de la cúpula abrió un capítulo singular en la compleja y problemática historia de San Juan el Divino: a la vez que se convirtió en banco de pruebas de la Empresa Guastavino, que nunca había realizado una estructura de estas dimensiones, constituía una solución incoherente a los ojos de La Farge y Cram. En efecto, ambos buscaban una solución constructiva que permitiera que la luz se filtrase desde la parte alta, y que caracterizara al crucero como gran zona luminosa. En cambio, la cúpula de Guastavino era totalmente ciega. Sin embargo, habría sido sencillo, y ciertamente compatible con el procedimiento constructivo, haber previsto aperturas para el paso de la luz; pero a la empresa se le había pedido explícitamente realizar una obra provisional, de la manera más sencilla y con costes moderados, pues se preveía su demolición en un breve lapso de tiempo.

El proyecto de Cram ignoró las partes todavía no realizadas, rehizo la nave, el coro, el transepto y la fachada occidental en un estilo tardogótico «irreprochablemente esmerado, aunque poco convincente y frío».[3] Se trataba de una búsqueda que avanzó pacientemente durante muchos años con variantes y reflexiones: a los primeros dibujos, presentados en 1913, les siguieron numerosas reelaboraciones. La última solución es de los años cuarenta: la monumental torre piramidal, destinada a cubrir la cúpula del crucero y que, en las diferentes versiones, había constituido un elemento característico de la composición, se sustituía por una *flèche* gótica más ligera, signo evidente de la persistencia de las dificultades en la cimentación. Sin embargo, el empeño del proyecto de Cram no se dirigía únicamente a los aspectos estilísticos y espaciales, mediante los cuales intentaba dar un carácter homogéneo a la obra, muy condicionada ya por el planteamiento de La Farge. En 1927 terminó una interesante propuesta constructiva para el crucero: el proyecto preveía cuatro nuevos arcos ojivales de fá-



Figura 2
Sección longitudinal del proyecto de 1892. La bóveda vaída de Guastavino estaba destinada a ser demolida

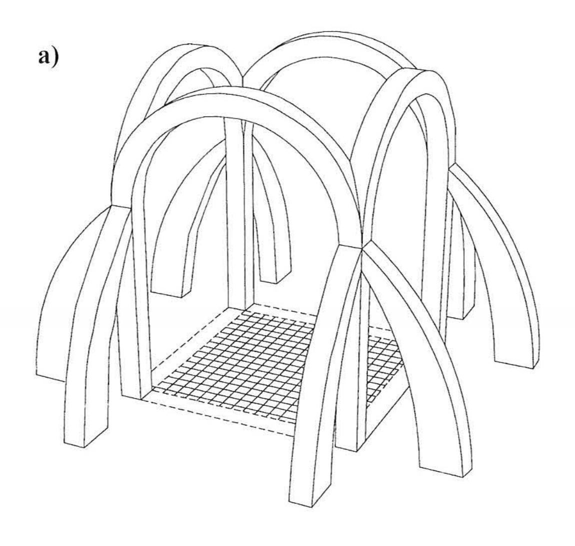
brica, dentro de los cuatro de medio punto de granito, ya realizados. Los arcos ojivales se entrelazaban en el espacio para constituir un conjunto solidario: así se reducían las dimensiones de la bóveda, haciendo posible la construcción, mientras el espacio entre la nueva estructura y los arcos preexistentes se mantenía abierto, para que la luz cayese desde la parte alta. El proyecto, ciertamente ingenioso, fue acogido favorablemente por su carácter innovador y señalado como una solución «que no había sido propuesta por los arquitectos góticos desde el siglo XII a nuestros días».[4] Sin embargo tampoco se llevó a cabo esta solución. La nave de Cram se terminó en 1941. Todavía permanecen sin acabar el transepto sur, parte del transepto norte y las dos torres de la fachada occidental.[5] La cúpula de Guastavino que nació para ser demolida y con una garantía para sólo diez años, todavía está en pie.

Ante el encargo de un problema de tan difícil solución para los arquitectos, la Rafael Guastavino Company encontró rápidamente una respuesta constructiva adecuada a los requerimientos de los clientes. No sintiéndose comprometida en cuestiones de carácter arquitectónico, y teniendo muy presente la provisionalidad de la intervención, la empresa pudo proceder a la enésima aplicación del procedimiento constructivo.[6] La experiencia y autoridad del sistema de bóvedas tabicadas constituían una ventaja indudable, pero no mermaban en absoluto el carácter experimental de la obra. Para entender mejor el alcance de la obra, debemos considerar que la cubierta del crucero representa, todavía hoy, un verdadero enigma.

La cúpula, que tiene un radio de 20,2 m y cubre una base cuadrada de 29,9 m de lado, se ejecutó sin recurrir a mecanismos de soporte provisionales. El primero de mayo de 1909 comenzaron los trabajos y el 7 de junio se terminó la última hilada de las pechinas esféricas; la bóveda vaída se cerró el 16 de agosto: ¡tres meses y dieciséis días! En un dibujo de 1915, preparado para la publicidad de la Compañía Rafael Guastavino, la cúpula de San Juan se representaba junto con otras realizaciones significativas de la empresa. La comparación pone de manifiesto la excepcionalidad de la obra: en efecto, se trata de la mayor cúpula realizada con el sistema tabicado.

El papel de constructor que resuelve problemas caracterizó la experiencia americana de Rafael Guastavino padre; pero es precisamente esta renuncia a ser proyectista autónomo, a la que corresponde una precisa especialización profesional, la que favoreció las numerosas y

a)



b)

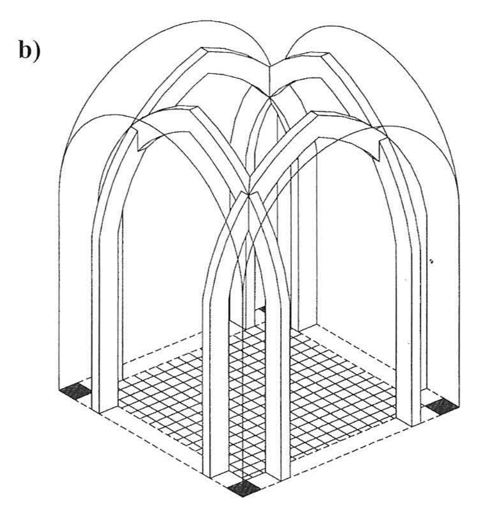


Figura 3
Esquema estructural del crucero: a) según el proyecto de Christopher Grant La Farge (1892), b) según el proyecto de Ralph Adams Cram (1927)

significativas colaboraciones con los arquitectos más importantes de la época. Sin embargo, el sistema de Guastavino no fue un instrumento técnico neutro en manos de los proyectistas: los espacios generados por los arcos y bóvedas tabicadas constituyen un rasgo característico de las arquitecturas en las que se emplearon.[7] Este carácter, unido al hecho de que la bóveda de San Juan esté realizada en ladrillo rojo y no prevea aperturas para la luz, puede haber contribuido a hacerla extraña y también «provisional», primero a ojos de La Farge y después de Cram.

En este caso concreto, la solución del proyecto sigue el hilo de las necesidades intrínsecas de la técnica. El esquema geométrico adoptado es el que responde de la manera más sencilla y económica al problema de la cubierta de un gran baldaquino de planta cuadrada: la bóveda vaída. La doble curvatura sinclástica que distingue a este tipo de bóveda, y que la encuadra en la familia de las superficies no desarrollables es, por otra parte, totalmente afín con las características de las cáscaras delgadas, resistentes debido a la forma, que se obtienen con el sistema tabicado. Además, el carácter provisional de la obra, antes que menguar su valor, introduce otro elemento de interés: efectivamente, la previsión de una futura demolición parcial requería una cuidadosa dosificación de los espesores estructurales y de los refuerzos metálicos.[8] En efecto, sólo se iba a demoler una porción de la bóveda vaída, la esférica situada por encima de las pechinas, mientras estas últimas deberían sostener el tambor y la futura cúpula, con la imposta a una cota sensiblemente más alta que la de las previsiones iniciales de Heins & La Farge. Esto llevaba a considerar cuidadosamente los procedimientos de la demolición y los diferentes modelos de equilibrio que se iban a producir en este paso.

Cuando se comenzaron las obras de la gran cúpula, ya se habían terminado la cripta y el presbiterio oriental con el sistema patentado de bóvedas tabicadas de Guastavino, así como lo estaban también el deambulatorio, con dos de las siete capillas previstas, y los cuatro grandes arcos de granito. Seis perfiles de acero, a excepción del lado este donde se hallan dos arcos rampantes, anulaban los empujes, evitando la construcción, en esta fase, de más estribos (en realidad los estribos, previstos por La Farge, se realizarían enseguida formando parte del esqueleto portante). Los cuatro grandes arcos de granito estaban dimensionados teniendo en cuenta las posteriores exigencias estáticas vinculadas a la aguja, elemento característico e irrenunciable para los arquitectos.

La peculiaridad del sistema de Guastavino consiste en las modalidades de la puesta en obra de los ligeros elementos de ladrillo: efectivamente, no se necesitan las cimbras costosas o, al menos, se ha previsto un uso muy reducido. Se procede con la ejecución de una primera hoja que sigue la curvatura de la bóveda y que está formada por ladrillos macizos sentados de plano (rasillas) de dimensiones normales 1,5 × 15 × 30 cm. La ligereza, debida al reducido espesor, y el empleo de un conglomerante de fraguado rápido, tradicionalmente el yeso, permiten que los elementos se sujeten debido a la fuerza de cohesión que se desarrolla entre el conglomerante y los bordes de tizón y soga de las rasillas; tras poco tiempo, aproximadamente un minuto, durante el cual la pieza se sostiene con la mano presionando contra los bordes de la parte ya realizada, la rasilla se puede mantener en su sitio sin ninguna sujeción. Se procede así por hiladas sucesivas. El verdadero problema es respetar la geometría de la colocación; aspecto que, para luces reducidas, puede confiarse a la pericia de las cuadrillas que se ayudan con alidadas constituidas por hilos o con formas ligeras que no tienen función portante. Sobre esta primera hoja delgada, se coloca un segunda hoja (el doblado) teniendo la precaución de poner antes un lecho homogéneo de mortero de cemento cuyo espesor se mantiene en una relación de 0,5/1 con el de los ladrillos; además, las juntas entre los diferentes hojas se van matando, a fin de evitar cualquier alineación de las mismas sobre el plano de sección del arco o de la bóveda. La configuración mínima requiere,



Figura 4
La obra durante la construcción de la bóveda tabicada, en junio de 1909 (Columbia University, Archivo Guastavino)

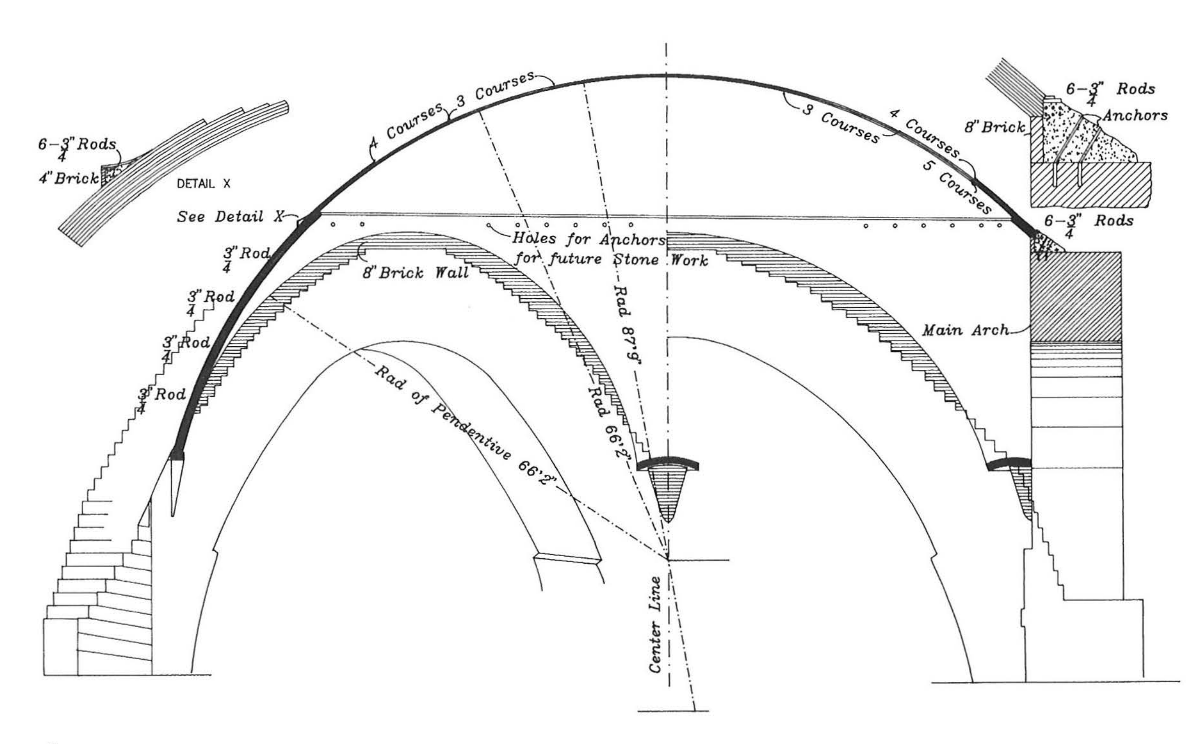


Figura 5
Detalle de la construcción de la bóveda

al menos, tres hojas de rasillas y dos lechos de mortero de cemento.

El procedimiento se aplicaba a cada caso específico. En efecto, mientras las reglas generales para la correcta puesta en obra se podían adquirir e incorporar a la práctica de las cuadrillas de obreros, cada obra precisaba un estudio apropiado y la puesta a punto de máquinas e ingenios variables cada vez. Las dimensiones del cuadrado de la base hicieron que surgiera inmediatamente un primer problema: el replanteo de las piezas, en cada fase del trabajo, debe realizarse con extremada precisión, para asegurar una forma esférica perfecta y así evitar irregularidades que constituyan puntos singulares, ciertamente nocivos para el funcionamiento estático de la delgada cúpula.

La cuestión se resolvió de la siguiente manera: cuatro cables de acero de 6 mm, anclados en el extremo de los arcos de granito, se tensaban mediante manguitos fileteados y soldados a una chapa metálica que materializaba el centro geométrico de la cúpula esférica. En el centro de la chapa, de 20,3 cm de lado, se fijó un cable metálico por medio de un bulón con un dado; el cable llegaba hasta el suelo, donde se ancló a un contrapeso mediante un tensor, con el fin de poder controlar siempre la verticalidad y la tensión. Otra unión articulada, unida también a la chapa, permitía el enganche y el movimiento de dos alambres sobre los que se ajustaba el radio de la esfera: manejados directamente por los operarios que se encontraban en los andamios, permitían controlar, en cada momento del trabajo, la correcta geometría radial para el trazado de la cúpula y la colocación de los ladrillos (Figuras 6 y 7).

Los alambres eran del tipo del que normalmente emplean los electricistas para colocar los cables en las instalaciones eléctricas, en razón de su mayor resistencia respecto a los ordinarios; efectivamente se deben tener en cuenta las solicitaciones accidentales debidas al viento. La posición de la chapa se controlaba cada dos o tres días mediante lecturas graduadas para verificar la posición exacta. Tras un periodo inicial en el que se pusieron de manifiesto desviaciones de 0,75 cm con respecto al centro geométrico, el sistema resultó estable. De este modo, se pudo proceder al trazado de la bóveda.

El arranque de las pechinas y, a continuación, del casquete esférico, se preparó con muros de ladrillo de 20 cm de espesor; este dispositivo permitió controlar y regularizar la forma geométrica de partida, al tiempo que aseguraba un plano de colocación homogéneo, realizado con los mismos materiales empleados en la bóveda vaída. El pie de las pechinas esféricas estaba constituido por cuatro arcos rebajados (la luz libre es de 2,4 m y el espesor de 23 cm, que corresponde a seis hiladas de piezas cerámicas) dispuestos paralelamente a las diagonales del crucero. La construcción se inició desde estos arcos rebajados de ladrillo y continuó siguiendo la geometría determinada por los alambres. A medida que

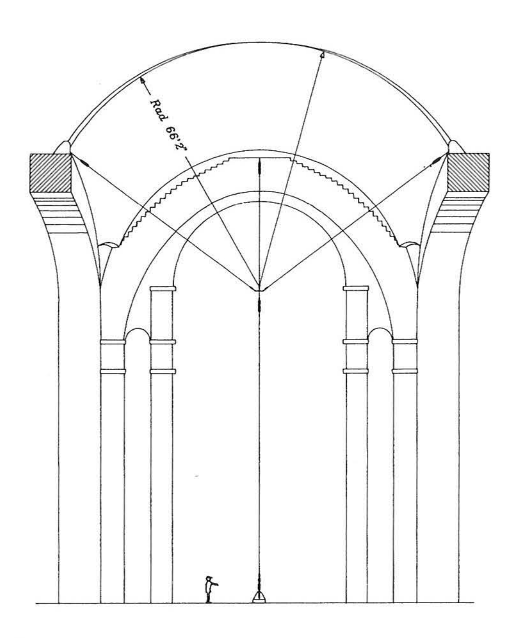


Figura 6
Sistema de los tirantes para colocar las rasillas

avanzaba el trabajo enseguida resultó evidente que los dos alambres, por si solos, no podían garantizar un procedimiento rápido de colocación como, por otra parte, requerían los tiempos de trabajo de los 10–12 albañiles que se empleaban en esta fase.

En este punto recordemos un segundo dispositivo de obra, que revela la perfecta maestría del proceso constructivo (Figura 8). Dada la invariabilidad del radio de curvatura, la figura geométrica esférica sugiere la posibilidad de unificar las plantillas de colocación.[9] Con este fin se empleaban como guía camones de madera estandarizados y con un perfil según la curvatura de los meridianos (los camones tenían una longitud de 2,40 m y una anchura media de 20 cm).[10] Se procedía a la colocación en series de dos a la vez, después de haberlos unido en el extremo mediante un bulón de $^{1}/_{4}$ de pulgada que funcionaba a modo de charnela; la primera guía se anclaba a la parte ya realizada con alambres metálicos que iban dentro de tubos huecos de hierro de $^{3}/_{4}$ de pulgada, incluidos en el espesor de la bóveda, en posición normal a las hojas de rasillas, oportunamente taladradas para este propósito. Los alambres se colocaban alrededor del primer camón y después se retorcían para conseguir la tensión necesaria para asegurar una resistencia eficaz. De este modo se obtenía un buen anclaje a la parte de estructura ya realizada, mientras el trabajo proseguía hacia el extremo superior dotado de charnela; en este punto, al segundo camón, que cuelga libremente hacia el interior, se le hacía rotar hacia arriba, se fijaba al ligero andamio de madera apoyado sobre el trasdós de la cúpula y después se anclaba de la manera que se acaba de describir. De este modo se podían reutilizar siempre los mismos elementos: el primer camón se desvinculaba fácilmente retirando el bulón de la charnela y se repetía la operación. El método permite proseguir hasta que se terminaba la obra con un notable ahorro de madera. Los camones no tenían ninguna función estática auxiliar durante la fase de construcción; respondían solamente a la necesidad de la puesta en obra y constituían una referencia segura para los obreros durante la ejecución. El anillo de la imposta del casquete esférico, donde se encontraba el círculo paralelo de mayor amplitud, se dividió en treinta y dos sectores: una distancia inicial que tenía en cuenta las sucesivas aproximaciones de los elementos al acercarse al vértice de la bóveda.

La sencilla e ingeniosa máquina de obra se incorporaba en el exterior por medio de un andamio ligero de madera, del tipo normal, con montantes de altura variable de 3 a 3,60 m, dispuestos cada 3 m a lo largo del anillo circular y a una distancia de 1,80 m a lo largo de los planos que contenían los radios; esto permitía tener una plataforma de trabajo para el paso de los obreros y los materiales. Los montantes estaban unidos por maderos clavados, dispuestos según las direcciones de los radios y los paralelos. Al crecer en vertical el andamio volaba hacia el interior y se mantenía a una altura mayor de 1,5 m con respecto a la última hilada de ladrillos. Así se formaban unas ménsulas sobre las que se podían apoyar los

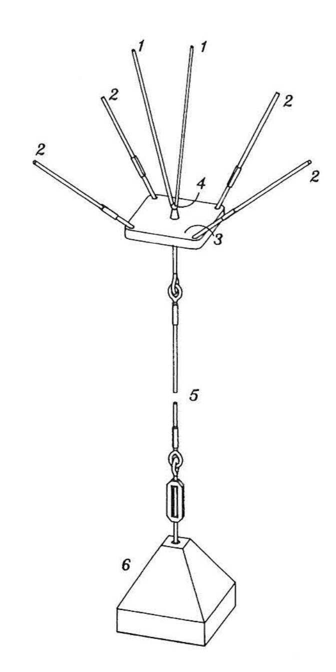


Figura 7
Sistema para controlar y regular el centro geométrico: 1. alambres; 2. cables de acero; 3. chapa metálica; 4. enlace articulado para unir los alambres; 5. tirante dotado de contrapeso para estabilizar y regularizar el sistema; 6. contrapeso

planos sucesivos. Finalmente, la rigidez del conjunto se aseguraba mediante un sistema convencional de riostras en cruz sobre dos planos verticales. A este ligero sistema auxiliar se unen los camones de madera que guiaban a los obreros en la fase de construcción más delicada: la colocación de la primera hoja, el sencillado. El andamio seguía a la cúpula en su crecimiento y se apoyaba en ella directamente en las diversas fases del trabajo.

En el sistema tabicado es necesario emplear ladrillos ligeros, dotados de buena resistencia y con posibilidades de garantizar una elevada adherencia con el mortero. En este caso se utilizaron rasillas rojas de 2,54 × 15 × 38/46 cm, producidas directamente por la empresa Guastavino. Para simplificar las operaciones de transporte, las rasillas se fabricaban en rectángulos de seis piezas, perforadas oportunamente según líneas de fractura que permitían una fácil separación de los elementos a pie de obra.[11]

Las cuadrillas procedían por hiladas sucesivas, según los paralelos, valiéndose de la condición autoportante del primer estrato del intradós, el sencillado. Las rasillas se preparaban para la puesta en obra de la siguiente manera: los bordes de tizón y de soga se recubrían cuidadosamente con mortero de yeso de París de fraguado rápido, después se colocaba la pieza cerámica presionándola con fuerza contra el borde superior de la hilada ya realizada; los camones tenían como única misión controlar, en esta fase, la posición exacta. En la imposta de la cúpula, donde la distancia entre los camones es mayor, muchas rasillas se colocaron sólo a ojo; pero esto se hacía con gran precisión gracias a la pericia de los obreros. Cada rasilla se mantenía en su posición por el albañil a fin de que la segunda, también preparada con los bordes cuidadosamente cubiertos de yeso, se pudiera colocar con cuidado al lado de la primera, y después presionarla con cierta fuerza contra ésa y la hilada de debajo. Esta operación básica se repetía siempre hasta que una cuadrilla de dos obreros se encontraba con otra. Completada la hilada a lo largo del paralelo, se colocaba la segunda hoja, desplazada con respecto a la anterior, después de haber preparado un lecho homogéneo de mortero de cemento Portland; el procedimiento se repetía hasta que se conseguía el número de hojas necesario. De esta manera, en una jornada de ocho horas, se completaban tres hiladas circulares, con un número de hojas variable de nueve, en las pechinas, a seis, en la imposta del casquete esférico. Desde la imposta el número de hojas decrecía progresivamente hasta llegar a un mínimo de tres en la clave de la bóveda: así el espesor varía entre 30,5 cm en la base y sólo 11,5 cm en la clave.

La puesta en obra de sólo tres hiladas al día tiene una razón precisa: en efecto la altura de 47 cm que supone estaba fácilmente al alcance del brazo del obrero, que podía trabajar con seguridad apoyándose en la parte ya realizada. Una vez terminadas las tres hiladas, y con independencia del número de hojas (variable como hemos visto de nueve a tres), era preciso esperar a que el mortero de cemento fraguara para que la cáscara pudiera asumir la capacidad portante. Durante la fase de fraguado, que requería una media de dieciocho horas, los obreros se ocupaban de otra parte de la obra. Debido a las características del yeso y a los tiempos de fraguado del mortero, este límite resultaba más patente en la fase avanzada de la construcción cuando, con la disminución de la circunferencia, se requerían un número más reducido de cuadrillas. Probablemente el empleo de cimbras tradicionales habría permitido, en esta última fase, un desarrollo más rápido de los trabajos.[12]

Es evidente que, con el avance de la obra, los obreros trabajaban sobre una cáscara delgada, a una gran al-

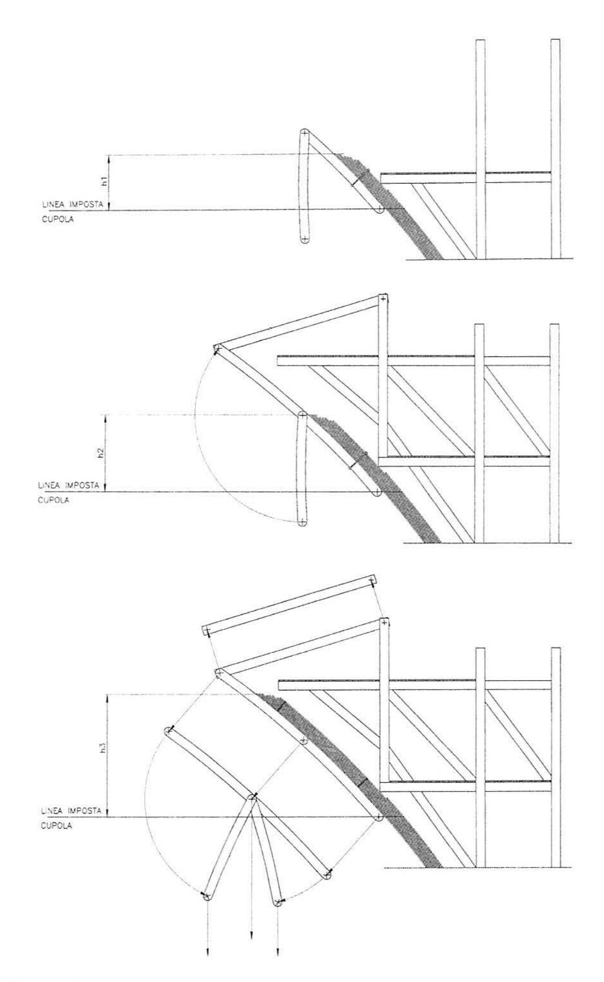


Figura 8
Reconstrucción de las secuencias constructivas con el empleo de camones de madera: 1. el primera camón se une a la parte de bóveda ya realizada; 2. el segundo camón se hace rotar hacia la parte superior y se fija al andamio; 3. los dos camones se dejan caer hacia abajo y se utilizan de nuevo

tura y suspendidos en el vacío. Algunos daban muestras de nerviosismo, pero los más expertos continuaban sin titubear, utilizando la misma cáscara ya terminada como apoyo para colocar la siguiente hoja. No obstante, no se produjo ningún accidente y tan sólo se cayeron dos rasillas, que probablemente no se sujetaron durante el tiempo suficiente.

Nacida como solución provisional, y sin responder ciertamente a las intenciones arquitectónicas de La Farge y Cram, la obra de los Guastavino estuvo marcada por la ambivalencia inicial: a la vez que se apreciaban los contenidos técnicos y constructivos, de los que se subrayó el carácter innovador, se daba por descontada su demolición.[13] La perspectiva de una duración limitada, formulada por los propios autores, fue a buen seguro el origen de considerar la cúpula como una obra «provisional». Sin embargo, lo sorprendente fue la general y acrítica aceptación de semejante perspectiva. Por otra parte, el problema que centró la atención de los especialistas era otro: ¿con qué estilo se había de terminar la obra? El dilema, que ya al principio de la historia llevó a la sustitución de La Farge por Cram, y que nos proporciona una obra híbrida pero fascinante, constituye una constante al comparar las diversas opiniones. En diciembre de 1954 la redacción de la revista *Architectural Forum* todavía comentaba la cuestión en estos términos: ¿se puede terminar la catedral en estilo moderno? James M. Fitch, que abría la serie de intervenciones, la considera un desafío para los arquitectos modernos:

> [...] ahora la historia apremia de nuevo a la catedral. La vicisitud de San Juan nos puede parecer un error, aunque un intento sincero, pero tiene el gran mérito de no haber terminado todavía [...] deberá terminarse con un lenguaje auténticamente contemporáneo como siempre lo han estado las catedrales [...] el nuevo proyecto deberá resolver lo que siempre ha constituido el núcleo del problema estructural y estético: el crucero [...] por tanto, sea cual fuere el diseño y el material, el nuevo crucero deberá responder a numerosos problemas arquitectónicos [...] Podría ser una cáscara ligera realizada con hormigón armado o una trama de aluminio y vidrio coloreado. Pero sea cual sea la forma o el material, deberá enfrentarse a la imponente factura de las bóvedas regulares ojivales de Cram, la fábrica de piedra gris y los arbotantes con sus agudos pináculos perforados.[14]

Sobre la bóveda de ladrillo el juicio es explícito:

> [...] la cúpula de terracota sobre el crucero muestra claros signos de falta de adecuación [...] siempre se la ha considerado un expediente provisional: y ahora, aunque ha superado los tiempos de garantía, al menos cinco veces, parece que sus días están contados. Ni siquiera con intervenciones radicales y muy costosas podría durar mucho más.[15]

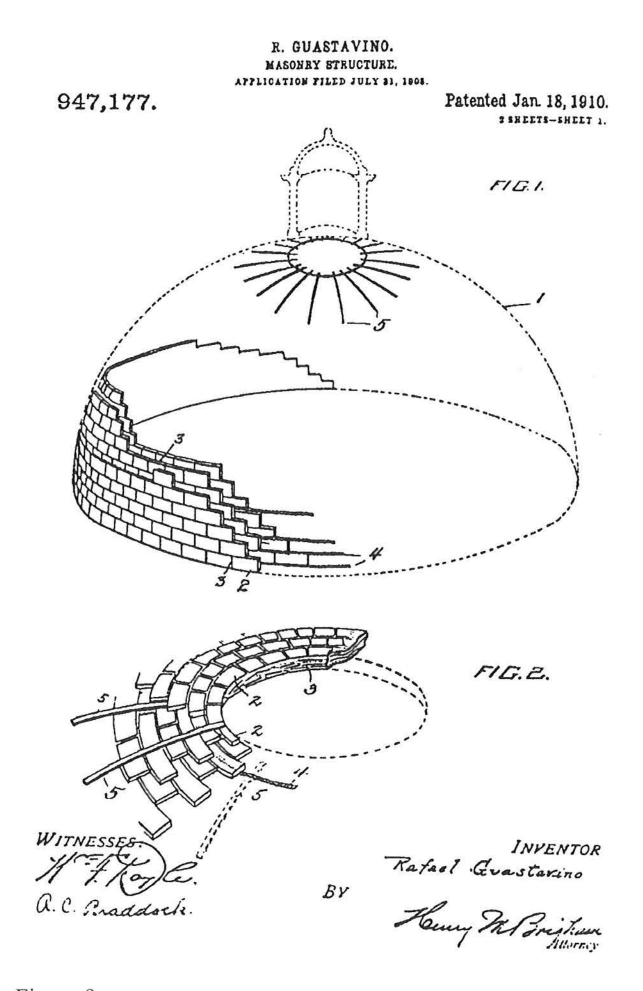


Figura 9
Patente de Rafael Guastavino hijo

Hoy a más de cuarenta años de distancia, los hechos desmienten esta predicción.

Sin embargo, sigue siendo indiscutible el interés por los contenidos ingenieriles de la obra.[16] Lo que suscita aprecio es la particularidad del magisterio constructivo empleado, su «diferencia», su carácter «innovador». El ingeniero George Perrine, responsable de las obras, subrayaba este aspecto: «[...] el método de construcción es completamente innovador y, en razón de la sustancial diferencia respecto a los procedimientos constructivos utilizados en la época para obras análogas, representó una empresa valiente».[17]

El sistema tabicado era completamente extraño a los hábitos constructivos norteamericanos.[18] A su carácter de novedad hace de contrapunto una fundamental incomprensión de cómo y por qué funciona esta cáscara de ladrillo, cuyo reducido espesor se conjuga difícilmente con la imagen habitual del aparejo de fábrica, identificado, por el contrario, con la masa y el sobredimensionado de las secciones resistentes. Las caracterís-

ticas geométricas, unidas al hecho de que la cúpula se ejecutó sin cimbras, a la vez que llaman la atención del público, suscitan el recelo del experto.

El sistema, que emplea materiales tradicionales como el ladrillo, el yeso, el cemento Portland, permite realizar arcos y bóvedas delgados sin la ayuda de cimbras. Una nomenclatura variable resume su no breve historia: así en la literatura se identifica con expresiones como, «sistema a la catalana» o «bóveda a la Rosellón»,[19] con unas características que dependen de las áreas geográficas de mayor difusión y desarrollo; o como «bóveda tabicada», cuyo significado literal de bóveda de tabique explica, metafóricamente, tanto el dato geométrico como la intuición de un posible comportamiento estructural, asimilable al de un tabique curvo de varias hojas. Finalmente, con una vinculación precisa a los experimentos y perfeccionamientos aportados por los Guastavino padre e hijo, el sistema se conoce todavía como «Guastavino System of timbrel vaults» o «Fireproof Construction».[20]

Por otra parte, la peculiaridad del sistema está ligada al hecho de que, precisamente en virtud de las reducidas secciones estructurales, entra en juego el factor de resistencia debido a la forma. Este aspecto conduce a comparar las bóvedas tabicadas con las cáscaras de hormigón armado, comparación lícita sólo en parte, ya que no se debe olvidar la peculiaridad de los correspondientes comportamientos estructurales. Efectivamente se trata de una construcción de fábrica, pero la característica disposición de los elementos y las trabazones que se establecen entre los ladrillos y el mortero, constituyen un ingenio estático que no se puede explicar con los tradicionales modelos interpretativos del arco o la bóveda de dovelas.[21] El resultado es que se tienen bóvedas delgadas ligeras que, por la disminución de peso, producen menores empujes.

Todos estos factores contrastan especialmente con lo que habitualmente se sabe y acepta sobre los sistemas abovedados que identifican la construcción de fábrica con la masa, los grandes espesores y pesos, y las cargas sobre las cimbras provisionales. En cambio, Rafael Guastavino prometía, con los mismos materiales, estructuras de gran ligereza y la desaparición de las cimbras. Pero la previsible desconfianza se tropezó con la concreción de las referencias: las obras que la historia aporta como testimonios silenciosos y en las que Guastavino experimentó y perfeccionó el método constructivo, primero en España y después en Estados Unidos.

El estupor y el aplauso que suscitaron sus obras son reveladores de una cuestión de fondo recurrente: la fallida comprensión de qué son y cómo funcionan las bóvedas tabicadas. La valoración de la cúpula de San Juan en las distintas publicaciones se traducía, casi siempre, en comentarios favorables y expresiones de admiración que escondían la falta de explicaciones, la revelación de la técnica empleada. En 1887 Louis de Coppet Berg, en el primer artículo que se conoce sobre las bóvedas de Guastavino, hablaba de ellas como si se tratase sólo de algo curioso.[22]

El enigma constructivo que rodea a la obra del maestro catalán está resumido perfectamente en las palabras de George R. Collins: «En estas bóvedas hay algo no sólo espectacular y de provocadora solemnidad, sino también una nota de misterio, precisamente en cómo y por qué éstas funcionan, y si se puede deducir una teoría para calcularlas estructuralmente».[23]

De alguna manera, la vicisitud americana de Rafael Guastavino padre,[24] es la historia de un hombre que persiguió con pasión ahondar en un conocimiento de la construcción profundamente asimilado y experimentado en años más jóvenes en su tierra de origen, España; pero de otro, también es la historia de una hábil gestión de las posibilidades que ofrece una técnica del pasado que, en el nuevo mundo, se puede presentar con el signo de la diversidad y la innovación.[25] Al pie de los dibujos que

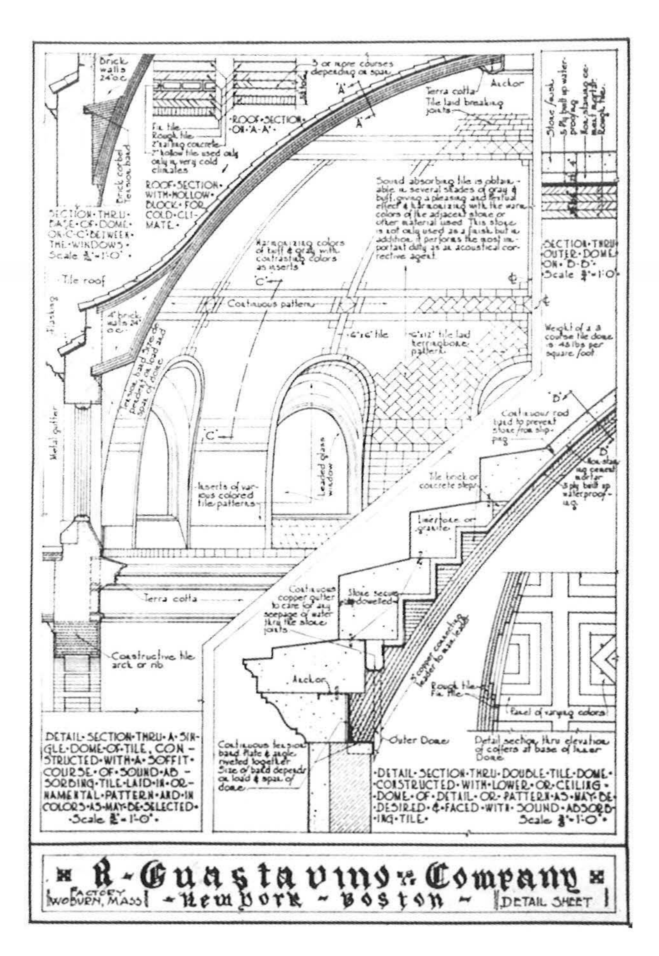


Figura 10
Detalle constructivo de la Rafael Guastavino Company (Columbia University, Archivo Guastavino)

acompañaban las solicitudes de patentes presentadas en la Oficina de Patentes de Estados Unidos, la firma de los Rafael Guastavino estaba asociada al título de «inventor».

Debemos subrayar cómo la capacidad de control de un repertorio constructivo de la tradición acompaña a una peculiar actitud hacia la concreción. El descubrimiento de una técnica histórica, que se decolora rápidamente en la invención, abrió la perspectiva de una valoración económica del mercado de la construcción. Un saber del pasado, cierto, pero que se reescribe, se explica, se reinventa para, finalmente, poder ostentar su paternidad: de aquí el carácter decididamente experimental que acompañó esta apropiación de un modo de construir y que condujo a obtener veinticinco patentes en los años comprendidos entre 1885 y 1939.[26]

Esta duplicidad, bien representada por las figuras del experimentador y el empresario, se manifestaba en dos estrategias: la primera correspondía a la voluntad de salir de las dificultades de un empirismo fuertemente ligado a las prácticas del oficio, para restituir el antiguo magisterio a un modo de pensar fundado científicamente; la segunda estaba vinculada a una afirmación económica en el mercado americano de la construcción, que se pudo obtener mediante la promoción de una técnica de la que se detentaba la exclusiva.

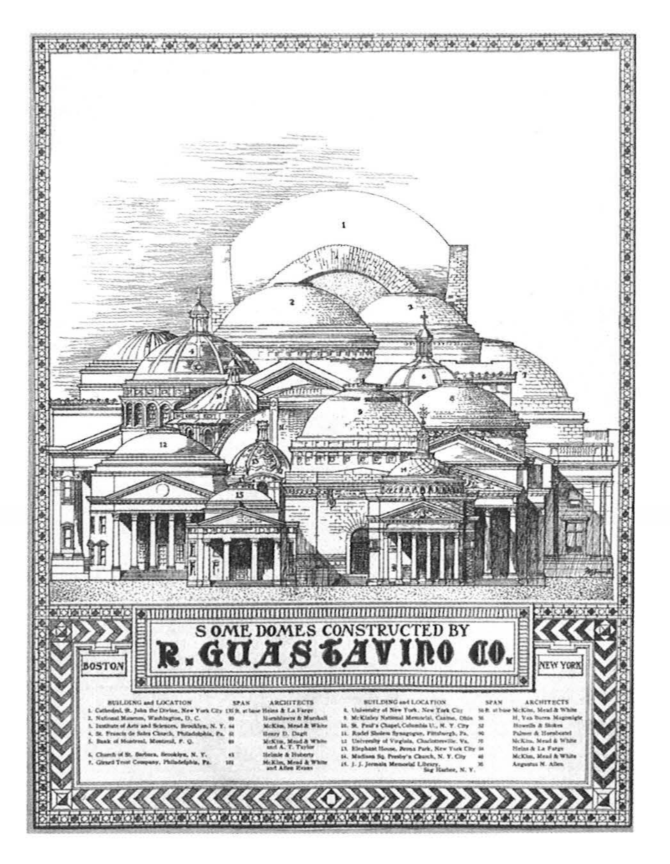


Figura 11
Cúpulas realizadas por la Rafael Guastavino Company entre 1897 y 1911. En el centro, arriba, la bóveda de San Juan el Divino (Columbia University, Archivo Guastavino)

Se trata de un procedimiento instituido en las prácticas transmitidas por los maestros albañiles. El carácter empírico que lo distingue es absolutamente consecuente con la manera de perpetuarse: confiado desde hace mucho tiempo a un modelo convencional de aprendizaje, que permite adquirir lo que se «sabe hacer» mediante la iniciación, la instrucción, pero que no proporciona los instrumentos para «describir racionalmente» el propio modo de trabajar. Este saber no está enunciado, se pone «directamente en obra». El objeto bien hecho constituye su mejor forma de garantía.

El silencio por parte de los técnicos en estructuras no sorprende. A este desinterés acompañó una carencia de elaboraciones teóricas y la falta de adecuación de los modelos explicativos. Rafael Guastavino lamentaba este estado de cosas y su actividad como propagandista se correspondía con un intento de esbozar una teoría de la construcción cohesiva.[27] Es el primero que se enfrentó de manera sistemática al asunto y en ello se le reconoce el mérito.[28]

La segunda estrategia se desarrolló en un terreno operativo. Aquí resultaba evidente la voluntad de coordinar un sistema de construcción tradicional con las tecnologías industriales habituales. Eso conllevaba que los materiales de construcción disponibles en el nuevo contexto americano fueran más idóneos y fiables.[29] Así, dio origen a una serie de ensayos tendentes a establecer los datos significativos de las tensiones, las deformaciones y las propiedades de resistencia al fuego. Esta última característica, por ejemplo, estaba ligada claramente a la oportunidad de resolver un problema de enorme importancia; existía un vacío en la oferta de estructuras resistentes a los incendios, y este espacio podía llenarse promocionando una técnica astutamente protegida por las patentes. A partir de 1889, la empresa Guastavino se caracterizaba, no por casualidad, como «Compañía de Construcciones Resistentes al Fuego». La estrategia de consolidación de la empresa se acompañó siempre, también en años sucesivos, de una atenta gestión publicitaria de los resultados conseguidos.[30] Recuérdense los experimentos realizados en la Fairbanks Scale Company entre 1887 y 1889, destinados a determinar las características de resistencia a compresión, tracción y cortante, así como el comportamiento de las deformaciones. Las pruebas permitieron a G. Lanza del M.I.T. elaborar una «Tabla de las Solicitaciones Teóricas de los Arcos con el 10% de Flecha y Carga Uniformemente Repartida», útil para hacer un cálculo sencillo en la fase de proyecto.[31] Entre las numerosas verificaciones experimentales recordamos aún la realizada para el New York Department of Buildings en 1897, destinada a demostrar las

características específicas de resistencia al fuego del sistema.[32]

La interpretación teórica, proporcionada por Guastavino, del comportamiento de las bóvedas tabicadas, o bóvedas «de panderete», como él preferirá llamarlas, presenta muchos puntos interesantes. Ésta introduce una distinción fundamental en los aparejos de la construcción de fábrica dividiéndolos en dos clases: la primera «Mechanical Construction», o construcción por gravedad; la segunda «Cohesive Construction», o construcción cohesiva. Se trata de una oposición donde el carácter distintivo está determinado, sobre todo, en el espacio macroscópico de los fenómenos observables; la descripción de los efectos y de las diferencias constructivas se convierte en el instrumento significativo de esta comparación.

En la pertenencia a las dos grandes categorías Guastavino aclara toda la historia de la construcción, en una especie de orden suprahistórico:

> La primera clase se basa en la resistencia de cualquier sólido a la acción de la gravedad cuando es contrarrestado por otro sólido. De este conjunto de fuerzas, más o menos opuestas entre sí, resulta el equilibrio de la masa total, sin tener en cuenta el poder cohesivo del material existente entre los sólidos.
>
> La segunda tiene por fundamento las propiedades de cohesión y asimilación de distintos materiales que, por una transformación más o menos rápida, imitan el proceso de formación de conglomerantes en la Naturaleza.
>
> Podemos dar otra definición más precisa y extensa para ambos sistemas, estableciendo que el primer sistema, o mecánico, es aquel en el que todos los elementos pueden separarse uno a uno y depués recomponerse de la misma forma o de una forma similar. A este tipo pertenecen las pirámides de Egipto y los templos griegos, etc. En la «construcción cohesiva», por el contrario, no se pueden separar los componentes sin destruir la integridad de la masa. A este sistema pertenecen los muros de ladrillo con mortero hidráulico de Babilonia, las bóvedas y cúpulas de los asirios, persas, árabes, romanos y bizantinos: la construcción conglomerada de la antigüedad y la Edad Media. [...].
>
> Los materiales empleados en la construcción por gravedad requieren únicamente la propiedad física de la resistencia. En la «construcción cohesiva» los materiales no sólo deben reunir ciertas propiedades físicas, sino que es absolutamente necesario considerar las propiedades químicas de las sustancias empleadas.[33]

Mientras la «Construcción mecánica», tal como se define, se puede apoyar en un paradigma explicativo referente al mecanismo de los sillares rígidos infinitamente resistentes, modelo que viene acompañado de métodos familiares para la resolución estática de arcos, la «Construcción cohesiva» todavía espera una formalización teórica y un método para su cálculo. Sin embargo, Guastavino intuyó sólidamente y describió de manera eficaz, a menudo por comparación con el sistema de gravedad, la especificidad del comportamiento estático inducido por la cohesión en las estructuras delgadas estratificadas. Él puso de manifiesto con claridad, e incluso cuantificando en sus pruebas experimentales, la aparición de un nuevo conjunto de fuerzas, debidas a la resistencia a cortante, que se desarrolla a lo largo de los planos de colocación de las hojas. Efectivamente, en las estructuras de bóvedas delgadas el mortero de cemento Portland (empleado por Guastavino) jugaba un papel característico: su presencia entre una hoja y otra de rasilla conllevaba, precisamente en virtud de la adherencia que se desarrollaba por su medio, una capacidad de resistencia a cortante en el plano medio de la curvatura, es decir perpendicular a las direcciones radiales. Se trata de un nuevo recurso estático que introduce una «fuerza adicional en el arco, fuerza que constituye la peculiaridad del Sistema de los Arcos Tabicados».[34] De la atenta observación del funcionamiento estructural de las bóvedas tabicadas, Guastavino dedujo una serie de convicciones que le llevaron a formular una teoría de la construcción cohesiva. Términos recurrentes como «elemento cohesivo», «asimilación», «monolítico», adquieren en el contexto de su discurso una expresividad particular; tienen la función de mediadores lingüísticos detrás de los cuales entrevemos otras tantas metáforas del comportamiento elástico del sistema, intuido, pero no formalizado totalmente en un modelo matemático.

Los numerosos estudios subsiguientes, aunque marcados por grandes diferencias y niveles de profundización, se mueven sobre la huella de esta teoría y acaban admitiendo «las propiedades elásticas de las bóvedas tabicadas». Sin embargo, el intento de conjugar el modelo del cuerpo homogéneo y elástico con casos reales donde permanece, y es neta, la distinción entre la pieza cerámica y el mortero, va al encuentro de las dificultades más serias: efectivamente, la heterogeneidad de los materiales dificulta la puesta a punto de un modelo matemático que sea, al mismo tiempo, de fácil aplicación y descriptivo del comportamiento de la estructura.[35]

Notas

1. C. G. La Farge, «St. John the Divine», *Scribners Magazine* (abril 1907): 385–401.
2. *American Architect,* 91 (18 mayo 1907): 203–204.
3. J. M. Fitch, «St. John the Divine: started in gothic should it be finished in modern?», *Architectural Forum* (diciembre 1954): 115.
4. K. Schriftgiesser, *New York Times* (15 enero 1927).

5. Sobre las vicisitudes de la catedral de San Juan el Divino véase: W.H. Goodyear, «Temperamental Architecture in the Cathedral of St. John the Divine», *The New York Architect* 5 (1911): 41–55; J.M. Fitch «St. John the Divine», 112–117; Macrae-Gibson, «Reflections upon the new beginnings at the Cathedral Church of St. John the Divine», *Architectural Record*, (noviembre 1979): 119–126; G.W. Wickersham, *The Cathedral Church of St. John the Divine*, Nueva York, 1990; W.B. Logan, «Il gotico secondo Calatrava. Completamento della cattedrale di New York», *Lotus International* 72 (1992): 64–69.
6. La cúpula la construye Rafael Guastavino Expósito (1872–1950), hijo de Rafael Guastavino Moreno (1842–1908), quien utiliza con gran pericia el procedimiento estudiado y puesto a punto por su padre. Este último muere en Asheville, Carolina del Norte, el 12 de febrero de 1908.
7. En muchos casos, las características constructivas del procedimiento se incorporan, firmemente, al carácter de las arquitecturas a las que pertenece. No es una casualidad que en 1900, cuando los arquitectos americanos votaron los diez edificios más bellos construidos en los Estados Unidos, ocho estuviesen realizados por la Empresa Guastavino; véase *Brochure Series* 6 (enero 1900) y G. R. Collins, «The Transfer of Thin Masonry Vaulting from Spain to America», *Journal o the Society of Architectural Historians* 27 (1968): 199.
8. Los refuerzos metálicos parece que constituyen una contradicción aparente en virtud del comportamiento de las bóvedas a la catalana y a la luz de la teoría sobre la construcción cohesiva de Rafael Guastavino padre. Sin embargo es probable que estos refuerzos, en concreto el anillo circular de hormigón armado con seis redondos de $^{3}/_{4}$ de pulgada (1,9 cm) en el paso entre las pechinas y la porción en cúpula de la bóveda vaída, tuviesen en cuenta las características de esfuerzo variable, con la demolición prevista y la posterior construcción del tambor según el proyecto de Heins & La Farge. Por otro lado, dichos refuerzos metálicos corresponden en parte a las características descritas en la patente nº 947177 de 18 de enero de 1910, obtenida por Rafael Guastavino hijo.
9. En los artículos «Erecting a large dome without Falsework», *The Engeneering Record,* 60 (1909): 508–510 y H. B., «A Large Dome built without Centering», *The Architectural Association Journal,* 43 (1927): 131, se hace referencia a un mismo dibujo, del que no hemos conseguido reconstruir la procedencia, donde se indican los radios de curvatura diferentes para las pechinas R= 20,2 m y para la porción de cúpula apoyada sobre estos últimos R= 26,7 m. Las medidas declaradas contradicen el gráfico que, en cambio, está construido utilizando un único centro de curvatura. Además, durante una visita efectuada en octubre de 1993, no he notado este rebaje del casquete. En el dibujo, la variación de los espesores de la cúpula se registra en el intradós, hecho sobre el que expresamos dudas, pues contradice la lógica constructiva del sistema tabicado y la documentación sobre la bóveda.
10. La reconstrucción gráfica, efectuada con R. Gulli y G. Mochi, pone de manifiesto cómo la longitud de 2,4 m de los camones de madera representa un submúltiplo entero de la curvatura de la bóveda vaída en el plano vertical que pasa por el centro. Esta reconstrucción ha tenido en cuenta un único radio de curvatura R= 20,2 m.
11. Por sugerencia de W. E. Blodgett, administrador de la compañía, los Guastavino producían sus propios ladrillos en su fábrica de Woburn, Massachusetts.
12. Sin embargo la ausencia de cimbras de soporte provisionales, que la peculiaridad del sistema «a la catalana» permite, en la época suponía un ahorro de 2.000 dólares; una economía destinada todavía a crecer en tanto no se tienen en cuenta los posteriores gastos para desarmar las cimbras, necesarias en cambio con los demás métodos. El coste total de la bóveda vaída fue de 22.200 dólares, de los que 11.900 se destinaron a las pechinas 10.300 a la cúpula.
13. La obra constructiva de los Guastavino suscitó el interés tanto de la prensa corriente como de la especializada; la obra se comenta y describe en las siguientes publicaciones: «Disaster defied on the Cathedral Dome», *N.Y. Herald* (septiembre 1909), «America's largest Dome erected without Scaffolding or falsework Support», *Scientific American* (30 octubre 1909): 277, «Erecting a large dome», 508–510; «The Dome of the Cathedral of St. John the Divine» *International Studio* 40 (1910): 56–61; G. Perrine, «The Construction of the Temporary Dome over the crossing of the Cathedral Church of St. John the Divine», *The New York Architect* 5 (1911): 56–61; *The American Architect* 99 (1911): 145–152; *Bulletin del Brooklyng Institute of Arts & Sciences* (1911): 343; H.B., «A large Dome», 131.
14. J. M. Fitch, «St. John the Divine: started in gotic», 116.
15. Ibídem, 114.
16. Tan sólo en abril de 1991 el proyecto para terminar la obra, debido al arquitecto e ingeniero valenciano Santiago Calatrava (vencedor de un concurso internacional) sanciona el valor de la obra constructiva de Guastavino al incorporar la bóveda en la nueva solución. Sobre este asunto véase W. B. Logan «Il gotico secondo Calatrava», 64–69.
17. G. Perrine, «The Construction of the Temporary Dome», 58.
18. No existen precedentes de bóvedas catalanas en el nordeste americano. La primera publicación que se ocupa de las bóvedas de Guastavino las considera solamente como una cosa «curiosa», pero más allá de esta curiosidad por un método de construcción insólito, el sistema, de hecho, no se conoce y mucho menos se explica; véase Louis Coppet Berg, «Safe Building», *American Architect and Building News* (3 diciembre 1887). El artículo se cita en G. R. Collins, «The Transfer of Thin Masonry Vaulting», 176–201, un ensayo que constituye el trabajo más completo sobre la obra de los Rafael Guastavino, padre e hijo.
19. Sobre la difusión en Francia del sistema constructivo a principios del siglo XVIII y en particular en la región del Languedoc y el Rosellón, véase el ensayo de T. C. Bannister, «The Roussillon Vault, the Apotheosis of a folk Construction», *Journal of the Society of Architectural Historians,* 27 (1968): 163–175.

20. La cuestión de los orígenes del método adquiere una importancia especial para el historiador. Algunos estudiosos, sobre todo españoles, han identificado en la bóveda de ladrillos dispuestos de plano, de procedencia romana, el arquetipo constructivo; una crítica apremiante a este planteamiento la mantienen G. R. Collins en «The Transfer of Thin Masonry Vaulting», y J. Basegoda Nonell en *La cerámica popular en la arquitectura gótica*, Barcelona, 1977. Por otra parte, para un examen de las principales tesis sobre el tema véase, R. Gulli, G. Mochi, *Bóvedas Tabicadas: architettura e costruzione*, Roma, 1995 y en particular el capítulo III: 133–154.
21. En E. Benvenuto, *La Scienza delle Costruzione e il suo sviluppo storico*, Florencia, 1981, 322–392, se esboza una significativa historia de las principales teorías de la estática de los arcos.
22. L. De Coppet Berg «Safe Building» 265; citado en G.R. Collins «The Transfer of Thin Masonry Vaulting», 193.
23. Ibídem, 180.
24. Rafael Guastavino Moreno (1842–1908) nace en Valencia, enseguida se traslada a Barcelona donde frecuenta algunos cursos de la Escola de Belles Arts. Sus primeros edificios, que construye ya desde 1866 con arcos y bóvedas tabicadas, se conocían y estudiaban en la escuela donde, en 1870 se encuentran Antoni Gaudí (1852–1926) y Luis Doménech i Montaner (1852–1919); es verosímil pensar que los dos maestros habían tomado preciosos motivos de sus propias obra para sus aplicaciones de las bóvedas tabicadas. Por otra parte existe una numerosa cantidad de proyectistas de gran importancia cuya búsqueda arquitectónica está ligada a la experimentación de esta técnica, entre ellos Luis Moncunill (1868–1931), José Puig i Cadafalch (1869–1956), Juan Rubió i Bellver (1870–1952), Jerónimo Martorell (1877–1951). En 1876 se le premió con una medalla de bronce en la Exposición Internacional del centenario de Filadelfia. Cinco años más tarde, en febrero de 1881, llegó a Nueva York llevando consigo a su hijo Rafael Guastavino Expósito.
25. Sin embargo no es la primera vez que el sistema a la catalana se propone como descubrimiento; ya en 1754 el conde Félix François d'Espie había dado a la prensa su tratado sobre la construcción de bóvedas de ladrillo y yeso, con esta premisa: «Muchos son reacios, y a veces con razón, a aceptar nuevos descubrimientos. No obstante, espero que cuando hayan examinado esta propuesta mía con atención, comprendan las ventajas e importancia [...] me habría sentido culpable si hubiese esperado más tiempo antes de comunicar al público un descubrimiento tan interesante [...] técnica admirable y singular que mucha gente no aprueba por el sólo hecho de no conocerla, y cuyo uso es muy antiguo en el Rosellón», F. F. d'Espie *Manière de rendre toutes sortes d'édifices incombustibles; ou Traité sur la Construction des Voutes faites avec des briques & du plâtre, dites Voutes plates; & d'un Toit de brique, sans Charpente, appellé Comble Briqueté*, París 1754, 7–9; por otra parte, sobre el tema véase M. Lemma, *Dei Tetti Ammattonati. Nuova edizione critica del trattato scritto da Félix François d'Espie (1754)*, Venecia, 1996.
26. Las patentes solicitadas por los Guastavino, padre e hijo, corresponden a la legítima necesidad de proteger años de estudio y experimentación, pero también tienen que ver con una estrategia para consolidar la homónima empresa de construcción que, en julio de 1889, se incorpora a la Guastavino Fireproof Construction Company. A esta reorganización, que contempla el ingreso en la sociedad de W. E. Blodgett, corresponde una fase de consolidación y expansión. La compañía trabajó, con diversas vicisitudes, hasta 1962, año en que se liquida.
27. R. Guastavino, *Essay on the theory and history of cohesive construction, applied especially to the timbrel vault*, Boston 1892, 41–42.
28. En octubre de 1889, a petición del arquitecto T. M. Clark, la Sociedad de las Artes de Boston del MIT invita a Rafael Guastavino a pronunciar una conferencia sobre el sistema constructivo con el que, en aquellos años, está realizando las bóvedas de la Biblioteca Pública de Boston proyectada por los arquitectos McKim, Mead & White; también será invitado a disertar sobre el mismo tema en el Thursday Club en enero de 1890. Las dos conferencias, que se publican en la revista *American Architect and Building News* 26 (1889) y 27 (1890), constituyen el núcleo del ensayo *Cohesive construction*. La actividad de Rafael Guastavino propagandista comprende otras muchas publicaciones, entre las más significativas: «The cohesive construction: its past, its present, its future» *The American Architect and Building News* 41 (1893): 125–129, memoria presentada al Congreso de Arquitectos en la Exposición Mundial Colombina en agosto 1893; *Prolegomenos on the function of masonry in modern architectural structures, Part I*, Nueva York, 1896; *The function of masonry in modern architectural structures, Part II*, Boston, 1904; «Fonction de la maçonnerie dans les constructions modernes» *Congrès international des architectes-Madrid 1904*, Madrid (1906): 337–360.
29. En la construcción de las bóvedas tabicadas es fundamental la calidad y fiabilidad del cemento; es precisamente a las características de los modernos morteros hidráulicos, producidos industrialmente, a las que Rafael Guastavino asocia la posibilidad de reactivar antiguas tradiciones constructivas, basadas en la cohesión entre los elementos.
30. En los setenta y tres años de actividad, de 1889 a 1962, son más de mil los edificios en los que aparecen las bóvedas de la Guastavino Fireproof Construction Company realizadas con el sistema tabicado. Desde el principio la compañía confía en las revistas de arquitectura para dar a conocer la «construcción cohesiva»: descripciones del sistema, ilustraciones de las obras acabadas o en fase de terminación. Algunas de estas inserciones, en particular las láminas fuera del texto, se utilizan para confeccionar desplegables publicitarios que la sociedad distribuye directamente. Más detalles sobre el tema se reseñan en G. R. Collins, «The Transfer of thin masonry vaulting», 196.
31. Las pruebas se encaminan a identificar la resistencia a cortante, debida a la cohesión entre el cemento y el la-

drillo, que Guastavino determina como factor de resistencia adicional del «Timbrel Arch System». En la prueba registrada como test nº 4873, el valor característico de la resistencia a cortante es de 8,7 kg/cm^2; los valores de la resistencia a tracción, test nº 4875 y nº 4876 son respectivamente de 11,2 kg/cm^2 a los siete días y de 20,2 kg/cm^2 a los diez días. Estos resultados se consignan y comentan en «Part III: theory and coefficients of application» de *Cohesive constructtion*, 50–59.

32. La prueba de resistencia al fuego suscita un interés inmediato y se describe detalladamente en *Brickbuilder* 6, (1897): 75.
33. R. Guastavino, *Cohesive Construction*, 45–47.
34. Ibídem, 50.
35. Una breve pero significativa historia de los modelos explicativos referentes al comportamiento estructural de los sistemas a la catalana se encuentra en R. Gulli, G. Mochi, *Bóvedas Tabicadas*; véase en particular el capítulo II, «Specificitá del sistema costruttivo tabicado e modelli di spiegazione», 81–100.

Rafael Guastavino Moreno
Ingenio en la arquitectura del siglo XIX

Jaume Rosell Colomina

Rafael Guastavino Moreno. Valencia, 1842 - Black Mountains, Carolina del Norte, 1908

La contribución del valenciano Rafael Guastavino Moreno a la arquitectura fue especialmente destacada por su labor de modernización de una antigua manera de construir, la que utilizaba las técnicas tabicadas, que se empleaban sobre todo en la construcción de bóvedas. Más adelante, Guastavino transferiría dichas técnicas desde Cataluña a los Estados Unidos, donde fundó una empresa familiar que en el lapso de dos generaciones levantó más de un millar de edificios, muchos de ellos de gran relevancia.

Estos dos hechos representan una aportación notable a la arquitectura contemporánea, sobre todo si tenemos en cuenta que fueron acompañados de una serie de reflexiones y propuestas de orden tecnológico que contribuyeron también a la modernización de la construcción por el esfuerzo que suponen por entender el comportamiento y la manera de trabajar los nuevos materiales.

Este proceso, que fructificó en América a finales del siglo XIX, se había iniciado, veinte años antes, en la Cataluña de los años setenta, de manera que cuando Guastavino llegó a Nueva York, las ideas fundamentales ya habían sido intuidas y en gran parte llevadas a la práctica. Después, la difusión del éxito profesional y la fortuna de la técnica transferida actuaron, y quizá continúan actuando, como dinamizadoras de la cultura arquitectónica catalana.

De Valencia a Barcelona

Rafael Guastavino Moreno nació en Valencia el 1 de marzo de 1842. Era el cuarto de los catorce hijos del matrimonio entre Pascuala Moreno y Rafael Guastavino Buch. Su padre, ebanista, se había trasladado a Valencia desde Barcelona. Medio siglo antes, a finales del XVII, desde su Italia natal (de las cercanías de Génova), el abuelo, Davide Giuseppe Guastavino, había llegado a Barcelona, donde se casó y se estableció.[1]

En Valencia, de joven, Rafael tocaba el violín y quería ser músico. Se encaminó hacia la arquitectura cuando conoció a Josep Nadal, inspector de obras públicas, y entró como dibujante en un despacho. Pero nunca perdió su afición por la música, como puede observarse en sus escritos posteriores, donde a veces compara música y construcción. La inesperada muerte de Josep Nadal le impulsó a trasladarse a casa de su tío en Barcelona para estudiar.[2]

Ya en Barcelona, en 1861, se matriculó en la Escuela Especial de Maestros de Obras, y al parecer, mientras estudiaba trabajó como ayudante de ingeniero en una fundición[3] y en el despacho de arquitectura Granell y Robert.[4] No mucho después se casó con Pilar Expósito y empezó a trabajar por su cuenta.[5]

Los estudios se prolongaron hasta 1864,[6] y durante el curso 1863–1864 Guastavino asistió también a las clases de Historia y Teoría de las Bellas Artes que se impartían en el marco de la Academia Provincial. Los datos de los que actualmente disponemos parecen indicar que no llegó a terminar los estudios de maestro de obras,[7] aunque probablemente obtuvo el título acogiéndose a la Real Orden de 29 de mayo de 1871 (que lo otorgaba debido al cierre de las escuelas), pues se le encuentra inscrito en el Centro de Maestros de Obras de Barcelona y ejerció como tal.

Los años que Guastavino pasó en Barcelona, que comprenden el período conocido como el Sexenio Democrático (1868–1875) y los inicios de la Restauración

Traducción de Ana Quijada, revisada por el autor, del original «Rafael Guastavino i Moreno: enginy en l'arquitectura del segle XIX», *Ciència i Tècnica als Països Catalans: una aproximació biogràfica*, Barcelona, Fundació Catalana per la Recerca, 1995, pp. 494-522.



Figura 1
Al acabar el curso 1861–1862 en la Escuela Especial de Maestros de Obras, los discípulos de Elies Rogent, uno de los profesores, le dedicaron esta fotografía. Guastavino es el segundo por la izquierda de la primera fila. Tenía entonces 19 años. (Archivo de la Cátedra Gaudí, Barcelona)

Monárquica, fueron años de notable actividad profesional, como prueban los edificios de viviendas que proyectó o construyó en las zonas más elegantes de la ciudad por encargo de importantes propietarios y el considerable número de edificios industriales en los que intervino. Ello deja constancia de su inserción en el tejido social y económico barcelonés.

Las obras en Barcelona

Guastavino desarrolló su trabajo en dos frentes: como arquitecto, proyectando edificios y presentándose a concursos, y como constructor, realizando obras proyectadas por él mismo o por otros, ganadas en licitaciones y subastas. Ambas facetas fueron a menudo simultaneadas.

Intentaremos exponer, de manera sistemática, los datos que hemos recopilado sobre la actividad profesional de Rafael Guastavino en su etapa catalana, con la certeza de que en el futuro serán ampliados y completados:

1866 Casa de cuatro plantas en el Ensanche de Barcelona.
1868 Casa para el banquero Víctor Blajot, de cinco plantas, todavía existente, en el paseo de Gracia, actual número 32.
1868 Fábrica para los hermanos Batlló en les Corts de Sarrià, actualmente integrada en el conjunto de la Escuela Industrial. Consta de dos edificios, uno más alto, de cuatro plantas, el eje, construido con vigas de madera y bóvedas tabicadas y con una gran escalera tabicada con pechinas, y el otro, semienterrado, de una planta, la antigua sala de telares, con arcos de ladrillo con refuerzos metálicos que soportan bóvedas tabicadas. Además, una chimenea octogonal de ladrillo de 60 m de altura.
1868 Monumento a «La Gloriosa», con una atractiva iluminación, en la plaza Nacional (actualmente plaza Real).
1871 Fábrica Vidal e hijos. Con bóvedas tabicadas sobre vigas de madera.
1872 Casa propia, de cuatro plantas, en la esquina de las calles Lauria y Aragón, con forjados a base de bóvedas tabicadas. Se empleó cemento pórtland importado de Inglaterra.
1872 Casa Camil Julià, en el paseo de Gracia número 150-152, reconstruida hace algunos años.
1872 Casa Miquel Buxeda.
fd Casa Pau Montalt.
fd Palacete Llorenç Oliver, en el paseo de Gracia.
fd Fábrica de lanas Mitjans y Cía.
fd Fábrica Martí y Rius, en la calle de la Lleialtat de San Martí de Provençals, de dos plantas, con bóvedas tabicadas de tres metros de luz tensadas sobre jácenas.
1874 Concurso para el monumento a los Héroes de la Campaña de Africa de 1860.
1875 Tenería Muntadas, Aparicio y Cía, con bóvedas tabicadas sobre jácenas de madera.
fd Fábrica de vidrio de Modest Casademunt.
fd Fábrica de porcelanas Florensa y Cía.
1877 Almacenes Grau en Barcelona, con jácenas de tabica tensada de 5,80 m de luz y bóvedas tabicadas.
1877 Casa de una planta para Josefa Elias en la calle Nápoles, que probablemente no se llegó a construir.
1878 Fábrica de lanas Carreras e hijos, con vigas de hierro y arcos y bóvedas tabicadas.
1878 Casa Modest Casademunt en el número 3 de la calle Aribau, que todavía existe.
1878 Casa para el banquero Andreu Anglada.

fd Fábrica Rosic.
fd Fábrica de sedas de Saladrigues.
1879 Casa Edmond Sivatte en la calle Urgel.
1880 Teatro del centro cultural «La Massa» de Vilassar de Dalt, todavía existente. Con una cúpula rebajada de casi 10 m de diámetro. Se empleó cemento Montestru de Tardienta.
1880 Casa Mumbrú en Sarrià.
fd Fecha desconocida

Si no se especifica otro lugar, está ubicado en Barcelona.

La presencia en exposiciones y concursos de las obras de Guastavino junto a las de los mejores profesionales del momento deja constancia de su reputación. Se conoce, por ejemplo, su participación en la Exposición de Agricultura, Industria y Bellas Artes de 1871, celebrada en el nuevo edificio de la Universidad de Barcelona (donde presentó las casas Blajot, Julià, Montalt y Oliver).[8] Se sabe también que en 1873 la obra de Guastavino estaba presente en la Exposición Universal de Viena,[9] y que en 1876 el Centro de Maestros de Obras, en el cual figura como «socio activo» de 1874 a 1877, celebró una gran exposición con presencia de su obra (casas Buxeda, Blajot, Oliver y «Casa del Jardinero»). Y se sabe, además, que el mismo año 1876 envió una muestra de sus trabajos a la Exposición de Filadelfia, que conmemoraba el centenario de la independencia de los Estados Unidos,[10] episodio sobre el que volveremos más tarde.

La implicación de Rafael Guastavino en la sociedad catalana queda patente cuando, en 1873, se le encuentra como parte del jurado que debía otorgar la construcción de la fachada de la Catedral de Barcelona[11] o cuando recibe, de la Sociedad Económica de Amigos del País, el diploma de honor por su labor como miembro de la comisión organizadora de la Exposición Marítima Española de 1872.[12] Cabe destacar también la inclusión de varias de sus casas en las publicaciones de arquitectura de la época.[13]

La arquitectura catalana de los años setenta

La Escuela Especial de Maestros de Obras, en la que Guastavino se había inscrito en 1861, era la única institución donde por aquel entonces se podía estudiar arquitectura y construcción en Barcelona, y había sido creada en 1850, junto con su homónima de Madrid, en la estela del programa de modernización de la educación en España.[14]

De hecho, en el ámbito de la arquitectura, este programa se había iniciado ya en 1844 con la fundación de la Escuela de Arquitectura de Madrid, que introducía, en la línea de la École Polytechnique de París, la enseñanza de las técnicas de construcción y el estudio de la historia como novedades más destacadas respecto de las academias que, desde el siglo XVIII, habían venido entregando el título de arquitecto.[15]

En esta línea de cambios, y quizá con una finalidad más práctica, se habían abierto las escuelas de maestros de obras. La de Madrid dependía de la Escuela de Arquitectura, pero la de Barcelona, donde no había Escuela de Arquitectura, dependía de la Academia Provincial de Bellas Artes. Los maestros de obras barceloneses que querían obtener el título de arquitecto se desplazaban después a Madrid para ampliar sus estudios.

Hacia la década de los sesenta, la creciente actividad en Barcelona y, sobre todo, las nuevas expectativas del sector de la construcción pesaban en el ambiente universitario surgido de la reforma promovida por la Ley Moyano. La vieja Barcelona acababa de derribar sus murallas y se preparaba para invadir los huertos que la circundaban, tal como se había aprobado en el proyecto de Ildefons Cerdà. La casa unifamiliar y, sobre todo, la casa de renta —que se vislumbraba como un buen negocio—, exigían una profunda renovación de la arquitectura. En este contexto se imponía también la puesta a punto de unas técnicas de construcción más modernas, racionales, rápidas y baratas que las que se habían venido empleando, unas técnicas que se basarían fundamentalmente en el uso de los nuevos materiales: el ladrillo, el cemento y el hierro.

La renovación de la arquitectura catalana estaba, por tanto, en gran medida en manos de las nuevas promociones que iban saliendo de la Escuela de Maestros de Obras, que se mantuvo como tal hasta 1870, año en que se convirtió en Escuela Politécnica primero y en Escuela de Arquitectura después.[16] Entre los impulsores de la renovación arquitectónica se contaban dos de los profesores de Guastavino, maestros de obras a la vez que arquitectos titulados en Madrid. Se trata de Elies Rogent,[17] una de las figuras más relevantes del panorama arquitectónico catalán de la segunda mitad del siglo XIX, y de Joan Torras Guardiola,[18] que fue llamado el «Eiffel catalán» por su conocimiento de la construcción en hierro, y que era un decidido partidario de la modernización tecnológica. Guastavino los reconoce en repetidas ocasiones como inspiradores de sus ideas.

Esta voluntad de cambio, perceptible tanto dentro como fuera de la Escuela, estaba basada en la confianza en la ciencia como generadora de progreso, en la asunción del modelo de la Naturaleza como objeto de imitación y en la intuición de los inventos que habían de conducir a una nueva tradición constructiva. Guastavino intuiría un capítulo de esta renovación, al que consagraría para siempre su trabajo. Nos referimos a la modernización de la construcción tabicada.

La construcción tabicada, esto es, todas las soluciones constructivas que el albañil realiza con ladrillos o rasillas puestos de plano —siempre unidos por el can-

to—, tenía una larga tradición en la historia de la construcción del área mediterránea, siendo la bóveda su versión más espectacular y conocida. Ya en la Cataluña medieval, los ladrillos habían sustituido las losas de piedra en las bóvedas de las iglesias, tal vez por razones de economía,[19] y aunque soportasen sólo su peso, a la vista de su ligereza (generalmente dos gruesos de rasilla), la resistencia de la bóveda tabicada aparecía como un fenómeno inexplicable y misterioso.

El éxito de la construcción tabicada era debido a cuatro factores: 1) sólo se precisaban materiales corrientes y de bajo coste; 2) en el caso de las bóvedas, no eran necesarias las cimbras; 3) el proceso de ejecución era de una extraordinaria simplicidad para un artesano conocedor del oficio; y 4) se trataba de una técnica muy versátil aplicable a múltiples soluciones constructivas.

En los edificios monumentales, la construcción de bóvedas tabicadas que habían de soportar poca carga se había mantenido desde el Renacimiento. Sin embargo, en el siglo XIX donde más se utilizaba la rasilla era en lugares de poco riesgo estático: bovedillas, bóvedas de escalera, azoteas, etc. La construcción tabicada se asociaba al yeso, pues la dificultad de sostener los ladrillos hacía necesario un conglomerado de fraguado rápido, inmediato. Ahora bien, como material resistente el yeso no tenía futuro, y por esta razón la construcción tabicada se consideraba parte de una tradición a extinguir.

La aportación de Guastavino

Guastavino intuyó la asociación del ladrillo con el cemento moderno —ya en el mercado desde la década de los cincuenta—, combinando la facilidad de maniobra que la técnica permitía con una resistencia mucho mayor, imprescindible para la construcción moderna. Las hojas de cerámica, solidificadas entre sí por el nuevo material, adquirían una resistencia extraordinaria a las pocas horas de construidas. De ese modo sería posible salvar con facilidad amplios espacios y a la vez soportar las pesadas cargas que exigían los modernos edificios residenciales o industriales.

El banco de pruebas de estas intuiciones fueron las fábricas de la industria barcelonesa que se reconstruirían en los años setenta, industrias vetustas que vieron la necesidad de abandonar los angostos espacios de la vieja ciudad[20] y trasladarse al Ensanche o a San Martí de Provençals. Las nuevas construcciones ya no se realizaban con suelos entarimados de madera, sino de obra, imitando las inglesas, con el fin de incrementar su rendimiento y protegerlas de la plaga del fuego. El fuego era un problema cada vez más acuciante, y la prima del seguro se encarecía considerablemente si se trataba de un continente más inflamable. Esta nueva manera de construir las fábricas con la bóveda tabicada —y no con la de rosca, como en Inglaterra—, en la versión modernizada de

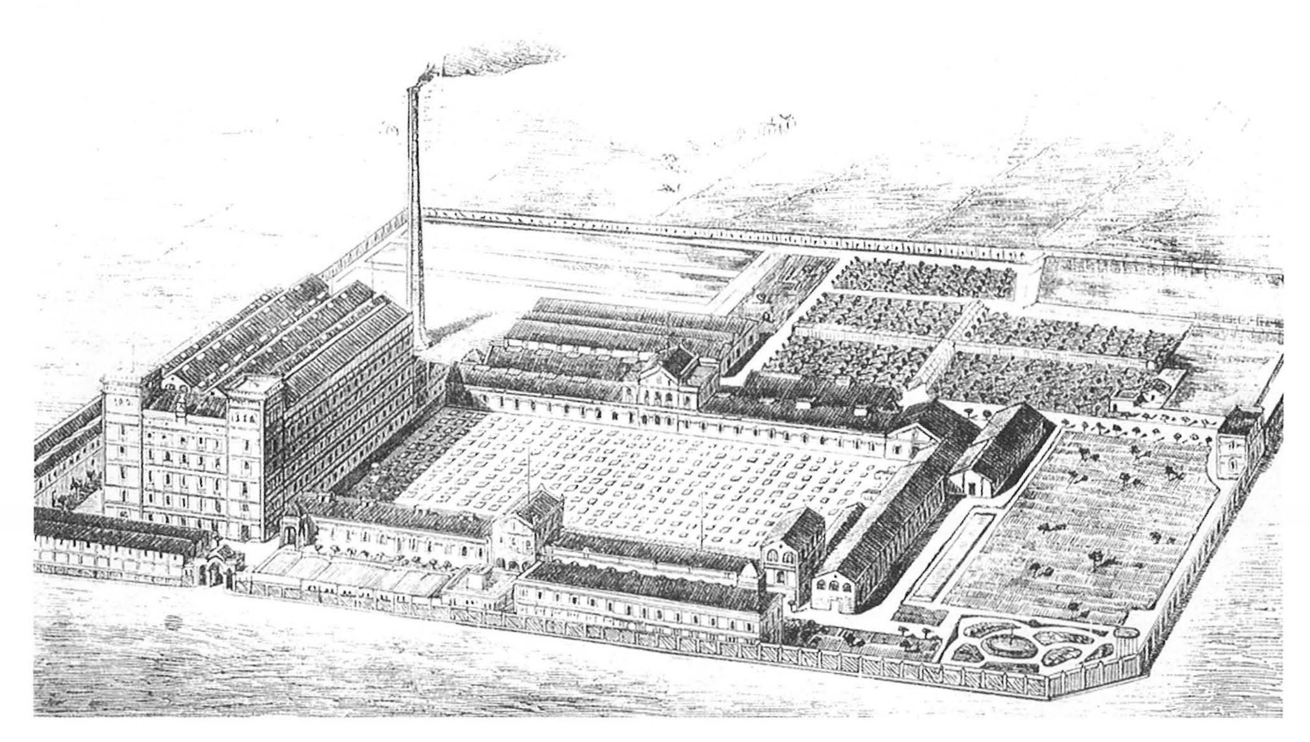


Figura 2
Vista general de la fábrica Batlló, tal como se construyó en 1868. El edificio de cinco plantas de la izquierda era la sección de hilados; se levantaba junto a la extensa planta de tejidos semisubterránea. (Grabado del archivo fotográfico del Servicio de Construcciones Civiles, Diputación de Barcelona)

Guastavino, convirtió las catalanas en un tipo genuino de la arquitectura industrial. En sólo diez años, durante la década de los setenta, el 75 por ciento del parque fabril de Barcelona se modernizó mediante la utilización de las estructuras tabicadas. En el 80 por ciento de los casos, las jácenas que soportaban estas bóvedas eran de madera, y en el 20 por ciento restante, de hierro, pues la madera era un material de combustión lenta y, por el contrario, el fuego colapsaba la estructura de hierro en muy poco tiempo.[21]

La construcción de la fábrica Batlló, que levantó una gran expectación, marcó el inicio de esta larga y peculiar aventura, aún hoy poco conocida por la falta de documentos y edificios. Actualmente podemos asegurar que Guastavino construyó con esta técnica: la fábrica Vidal e hijos, la fábrica Martí y Rius, la tenería Muntadas, Aparicio y Cía, los almacenes Grau, la fábrica de lanas Carreras e hijos y el teatro de Vilassar de Dalt. Sobre otras fábricas y edificios no disponemos de información, pero estamos convencidos de que con el tiempo podremos alargar la lista de obras realizadas con bóvedas, del mismo modo que podremos completar otros aspectos de la aventura catalana de Rafael Guastavino. Después habría que añadir todas aquellas obras de características semejantes que él probablemente inspiró. Refiriéndose a la utilización moderna de esta técnica tradicional, el mismo Guastavino dice que el 95 por ciento de los arquitectos y el 99 por ciento de los constructores la desconocían por completo.[22] Esto lo confirma como autor de la renovación.

Pero, es evidente que Rafael Guastavino no estaba solo en esta aventura. En efecto, si partimos de una técnica tradicional, de una voluntad generalizada que apostaba por la modernidad y de la oportunidad histórica que el proceso de renovación del parque industrial ofrecía, cabe suponer que otras personas participaron de ella. Como prueba podemos citar la coincidencia entre el forjado propuesto por Guastavino, formado por bóvedas tabicadas de cañón rebajado sostenidas por una especie de vigas a modo de diafragmas superficiales de ladrillo en forma de huso sobre una placa de hierro,[23] y el forjado que parece que había propuesto Joan Torras Guardiola más o menos por aquellas mismas fechas.[24] No obstante, nadie puede poner en duda que Guastavino fue el motor de la difusión del sistema, al que se dedicó en cuerpo y alma. De hecho, la fábrica Batlló —lo veremos más adelante— certifica su protagonismo como modernizador de la construcción tabicada.

Como explicará después Guastavino, la visita que realizó en 1871 al Monasterio de Piedra de los Muntadas lo enfrentó a la gran gruta natural, «¡de una sola pieza!», formada por la erosión del agua del río Jalón, y le ayudó a comprender la filosofía de lo que luego llamaría «construcción cohesiva». Guastavino suscribía la afirmación de Joan Torras de que el arquitecto del futuro se basaría en la imitación de la Naturaleza. Apoyándose en la historia y totalmente en sintonía con el pensamiento organicista —dos actitudes bien arraigadas en la cultura del siglo XIX— irá elaborando una teoría y una doctrina en defensa de la construcción tabicada. Su pensamiento empezará a volar y su gran intuición le hará plantearse incluso la posibilidad de convertir la técnica empleada para las bóvedas en una técnica universal, en un nuevo sistema de construcción.

Esto nos lleva de nuevo a la Exposición de Filadelfia de 1876, adonde envió para ser exhibidos algunos planos de sus edificios junto con una propuesta especial que llevaba por título «Mejora de la sanidad en las ciudades industriales», la cual representaba la aplicación práctica de lo que Guastavino llamaba «construcción tubular», es decir, la aplicación de la construcción tabicada a las paredes de los edificios, además de en los forjados, construyendo muros alveolados cuyas cavidades interiores garantizasen aislamiento y ventilación al mismo tiempo que ligereza y resistencia. Guastavino proponía la construcción tubular para edificar ciudades enteras como las que teorizaba Ildefons Cerdà y que, en aquellos momentos, 1859, el ingeniero acababa de proponer para Barcelona. Un planteamiento en sintonía con las corrientes higienistas y sanitarias más avanzadas, que pretendían una mayor calidad de vida para los trabajadores de las ciudades industriales.

Pero Guastavino se quejaba a menudo de la falta de medios para llevar a cabo sus proyectos, y le dolía la aceptación popular de la supuesta naturaleza misteriosa de la bóveda. Los materiales que se producían en el país, sobre todo el cemento, eran de calidad irregular y no se podían establecer promedios aceptables que permitieran un encuadre teórico general del sistema. No había instrumentos de ensayo, ni siquiera —decía Guastavino— literatura técnica sobre la construcción tabicada. Excepcionalmente, entre los textos disponibles sobre la antigua bóveda de ladrillo cabría destacar un pequeño volumen, editado en Madrid en 1776, que era la traducción de Joaquín de Sotomayor de una obra que el conde de L'Espie había publicado en Francia en 1754. El contenido de *Modo de hacer incombustibles los edificios sin aumentar el coste de su construcción* nos hace pensar que, con toda probabilidad, ese texto le había iluminado el camino. Pero tampoco se trataba de una publicación científica.

Por su propuesta sobre la construcción tubular en la Exposición de Filadelfia le concedieron una medalla de bronce *in absentia*. El pensamiento de Rafael Guastavino volaba hacia el nuevo y gran país que eran los Estados Unidos en un momento en el que «hacer las Américas» era, en Cataluña, una alternativa bastante generalizada.

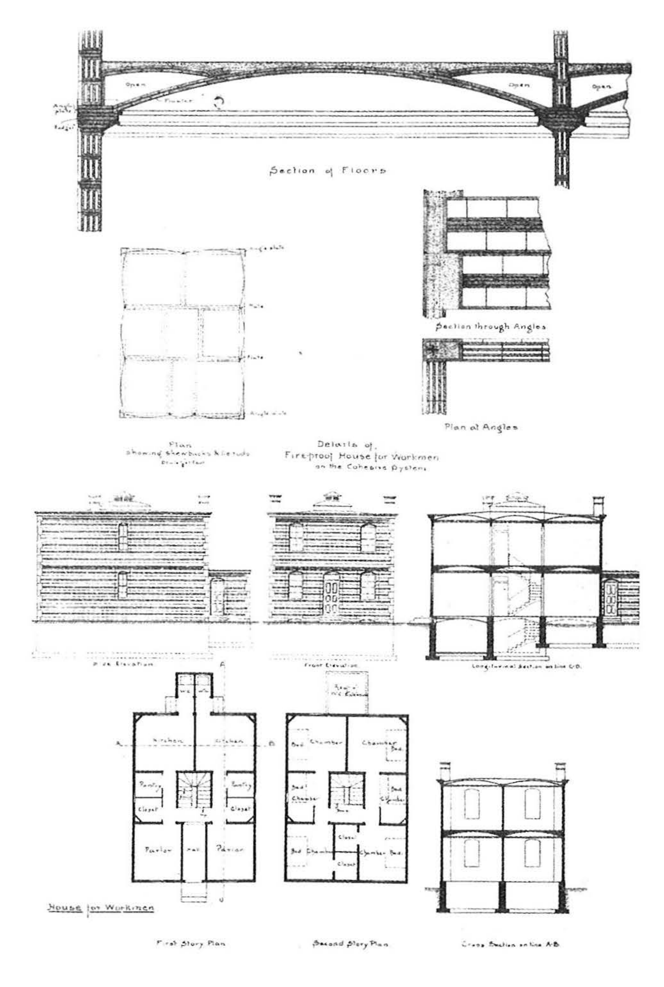


Figura 3
Lo que Guastavino denominaba «construcción tubular» era un sistema de muros y forjados de ladrillo reforzados con hierro que habría de servir para los amplios programas de construcción de las nuevas ciudades. La figura, que muestra unas casas para trabajadores, formaba parte de la propuesta «Improving the Healthfulness of Industrial Towns», presentada por Guastavino en la Exposición de Filadelfia de 1876. *The American Building News*, Boston (22 de febrero de 1890)

De Barcelona a Nueva York

La vida personal de Rafael Guastavino había pasado, en todo ese tiempo, por diversas vicisitudes. Durante los primeros cinco años junto a Pilar Expósito habían llegado tres hijos, Josep, Manuel y Ramón, pero el matrimonio no iba bien y debió de ser a principios de los setenta cuando se produjo la primera separación de la pareja, que duró dos años. Superada la crisis, Rafael y Pilar tuvieron su último hijo, Rafael, que nació en 1872. Pero el fracaso matrimonial no tardaría en manifestarse de forma definitiva. En febrero de 1881, la esposa de Guastavino y sus tres hijos mayores partían hacia Argentina, mientras él y el pequeño Rafael embarcaban el 26 de febrero en Marsella, rumbo a Nueva York.

No sabemos si su partida se debió sólo a razones personales, de las que los problemas matrimoniales eran una muestra, o bien, como han apuntado otras fuentes,[25] había también razones económicas, nada extraño en una persona con la cabeza llena de ilusiones arquitectónicas. ¿Y por qué no una combinación de ambas? Pero, sobre todo, habría que añadir la confianza que Guastavino tenía en el potencial científico y económico de la costa Este americana, que permitiría la realización de su sueño profesional.

Cuando llegó a Estados Unidos con su hijo, su ama de llaves y dos hijas de ésta, Guastavino tenía cuarenta dólares en el bolsillo y prácticamente ningún conocimiento de inglés.[26] Nueva York estaba patas arriba, toda en obras: el puente de Brooklyn, la Up-Town... Manhattan se transformaba, atravesada por un sinfín de trenes a vapor. Las calles eran ríos de gente y una multitud de cables oscurecía el cielo. Las costumbres eran muy distintas de las europeas: masticar tabaco, beber whisky, nada de vino, nada de aceite de oliva...[27] Su adaptación no sería fácil.

El encuentro con la arquitectura americana

Cuando Guastavino llegó a América, la construcción, incluso en las ciudades, se realizaba sobre todo con madera, siguiendo la tradición iniciada con los sistemas *balloon frame* y *platform*, modernas adaptaciones de la construcción de madera europea que llegó a Estados Unidos con los primeros colonizadores. Sin embargo, los edificios de madera tenían el gran inconveniente de la combustibilidad. Habían transcurrido apenas diez años desde que el fuego asolara la ciudad de Chicago, y los incendios eran el pan de cada día. Unas décadas antes, la aparición del hierro —del hierro fundido— había sido recibida como la gran panacea, pero a esas alturas ya se había comprobado que el colapso en el edificio de hierro se producía, en caso de incendio, más deprisa que en el de madera.

En otro orden de cosas, en la década de los setenta, el arquitecto Henry Hobson Richardson había implantado en Estados Unidos la arquitectura *revival* medieval, neorrománica y neogótica, en la que se utilizaban grandes bóvedas. Estas bóvedas se hacían, en la mayoría de los casos, de yeso o cartón piedra, a modo de cielos rasos suspendidos del techo, dada la falta de tradición de las técnicas de la piedra y el ladrillo y el elevado coste de las bóvedas de rosca. La misma catedral de San Patricio en Nueva York se había realizado con bóvedas de cartón piedra. A la muerte de Richardson, en 1886, cuando Guastavino empezaba ya a trabajar a pleno rendimiento, la arquitectura *revival* medieval entró en crisis, pero la necesidad de bóvedas no disminuyó, sino

que, por el contrario, aumentó pues se inició una reacción a favor de la arquitectura neoclásica. Esta tendencia, hegemónica hasta el estallido de la primera guerra mundial, mantenía la gran demanda de cúpulas y exigía, más que nunca, una construcción maciza.

Guastavino vio en esta coyuntura la ocasión de que América adoptara el sistema europeo de construir con piedra o ladrillo y en consecuencia proponer como una alternativa real y competitiva lo que él llamaba *construcción cohesiva*. Pero ¿qué era la construcción cohesiva? La formulación teórica que con los años elaboraría Guastavino reza más o menos así:

La arquitectura es arte y construcción. Es evidente que cuando se desvinculaba la teoría de la práctica —como venía sucediendo— se producía una notable pérdida de calidad. Por tanto, era necesaria una reforma simultánea de la formación del arquitecto y del albañil que posibilitara su convivencia en un mismo medio escolar. El objetivo sería volver a construir decorando, es decir, que la belleza fuera el resultado lógico de la condición estructural.

Y continuaba: la primera arquitectura había sido la egipcia, que él denominaba *de gravedad*, porque los materiales —la piedra— actuaban en función de su peso. Esta arquitectura había alcanzado su máxima perfección en la época clásica griega. Después, los romanos inventaron una nueva arquitectura, que Guastavino llama *cohesiva*, porque los materiales —la argamasa— actúan en función de su capacidad para mantenerse íntimamente unidos, como los conglomerados de la Naturaleza; pero el revestimiento exterior de esta arquitectura no era auténtico, porque se había copiado de los griegos, y esto la hacía imperfecta. Más tarde, la misma Roma, y después Bizancio y sobre todo el Islam, perfeccionaron notablemente la arquitectura cohesiva gracias al uso del ladrillo. Pero entonces llegó el período decadente del Renacimiento y la arquitectura cohesiva ya nunca pudo alcanzar su momento clásico, como lo hiciera la arquitectura de gravedad en tiempos de los griegos. Llevar la arquitectura cohesiva a su momento clásico era, pues, el reto del tiempo.[28]

Existen, por tanto, según el pensamiento de Guastavino, dos formas de arquitectura cohesiva, aquella que utiliza la argamasa u hormigón, romana anterior a Augusto, y la que utiliza el ladrillo y el cemento de calidad, también romana, pero posterior a Augusto. La cronología y la importancia de estos dos hechos se basaba en la por entonces reciente publicación *L'art de bâtir chez les romains*, de Auguste Choisy, que según Guastavino, venía a cubrir parte de las lagunas dejadas por Viollet-le-Duc (uno de los pilares de la cultura arquitectónica del siglo XIX). En resumen, de los dos tipos de arquitectura cohesiva era precisamente la que empleaba el ladrillo la que había que continuar desarrollando. Y de las técnicas del ladrillo, las de la construcción tabicada, más bellas, más racionales, más ligeras, más resistentes y, en definitiva, más baratas.[29]

Como puede apreciarse, el recurso a la historia es fundamental en el pensamiento de Rafael Guastavino, actitud lógica en un hombre del siglo XIX que intenta comprender la evolución y descubrir qué es lo que hay que rectificar o adoptar para continuar avanzando.

Sin embargo, en aquella trepidante América de fin de siglo había otros dos sistemas de construcción que intentaban también sustituir la madera, uno con hierro —pero ahora ya no hierro fundido, sino acero laminado—, que representaba una técnica más cercana a la tradición lignaria y permitía resolver el reto de los rascacielos, y el otro, por entonces todavía incipiente, con hormigón armado, que dejaba traslucir las ventajas de una manipulación sin especialistas, aspecto muy en sintonía con los cambios estructurales de la economía norteamericana.

Guastavino intentaba descalificar ambas alternativas, argumentando que el hormigón no era adecuado porque era pesado, porque no resistía bien el fuego y precisamente porque lo trabajaban obreros no especializados (no cabe duda de que ello abonaba las repetidas propuestas de reforma de la enseñanza de la construcción y la arquitectura que acompañaban sus escritos), si bien siempre se había quejado del alto coste de la mano de obra que él precisaba. Por otro lado, el hierro tenía el evidente defecto de su escasa resistencia al fuego. Por tanto, la solución ideal era la combinación de la construcción cohesiva de ladrillo con el hierro, donde éste confería a aquél la misma resistencia que los huesos y tendones confieren a la carne en el cuerpo humano (*summum* de la perfección que nos ofrece la Naturaleza). Esta construcción mixta de ladrillo y hierro, que podría denominarse «ladrillo atirantado», era la construcción del futuro, aquella técnica que permitiría alcanzar la época clásica de la arquitectura cohesiva.[30]

Aparece aquí la segunda de las bases teóricas de Guastavino anteriormente enunciadas: la confianza en la imitación de los procesos de la Naturaleza como garantía de éxito.

Éste es, a grandes rasgos, el trasfondo, que podríamos llamar filosófico, en el que Guastavino basará su «cruzada» en favor de la arquitectura cohesiva. Existe, además, un discurso técnico-científico que será afanosamente perfeccionado mediante cálculos, ensayos, hipótesis y demostraciones y que supondrá una profundización extraordinaria en la teoría y la práctica de la construcción tabicada. Pero abordaremos este tema más adelante, porque ambos discursos, el teórico-filosófico y el técnico-científico, primero tenían que ser validados en una tenaz campaña de venta del producto con el fin de imponer el sistema en las obras cotidianas y, sobre

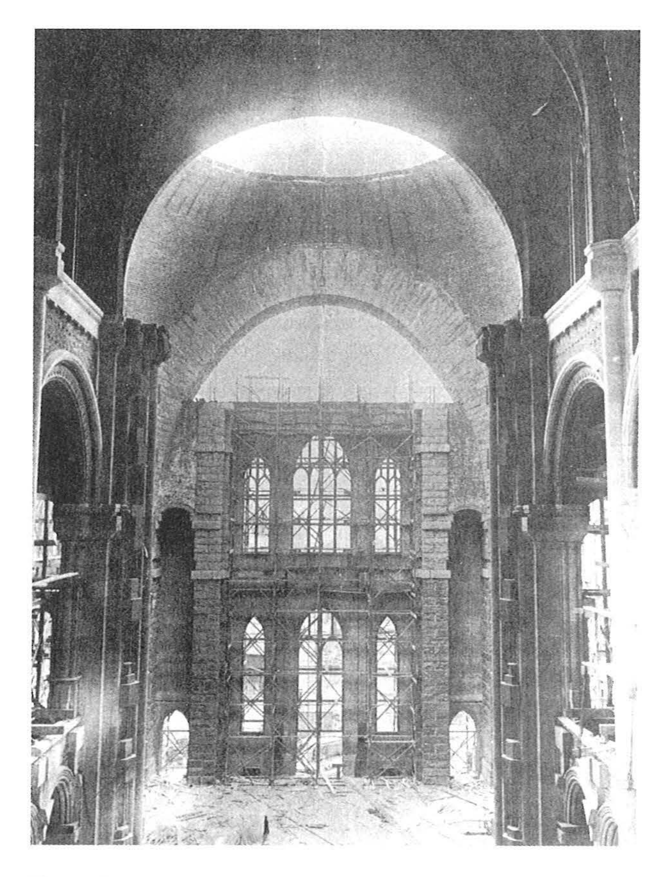


Figura 4
Cuando las obras de construcción de la iglesia de Saint John the Divine de Nueva York, junto a la Universidad de Colombia, se iniciaron en 1908, Rafael Guastavino acababa de morir, pero había dejado resuelta su gestión técnica y comercial. La cúpula y las pechinas fueron contratadas por un total de 22.200 dólares y tardaron un año en construirse, con la ayuda de instrumentos taquimétricos pero sin ningún tipo de cimbra, pues los propios trabajadores, subidos en la obra que habían realizado el día anterior, la iban cerrando a razón de una anilla de tres ladrillos por día. (Fuente: Archivo Guastavino, Avery Architectural & Fine Arts Library, Columbia University, Nueva York)

todo, en las obras más importantes de la arquitectura americana.

El éxito del *Guastavino system*

A pesar de la resistencia y ligereza de la construcción cohesiva y del considerable ahorro económico que suponía no necesitar cimbras y andamios, su introducción en el mercado americano era una empresa difícil para un hombre sin dinero y además extranjero. Por eso los inicios fueron arduos. Agotadas las cartas de recomendación que traía de Barcelona, Guastavino comprendió que aquello que para él era una necesidad obvia se estrellaba contra el escepticismo de los arquitectos norteamericanos, que no creían que el sistema cohesivo fuera transferible.

Durante el año largo que se prolongó su colaboración mensual con la revista *Decorator and Furnisher*,[31] donde publicó dibujos y escritos sobre arquitectura y decoración, Guastavino tuvo oportunidad de presentarse al concurso del edificio del Progress Club de Nueva York, para el cual propuso el estilo árabe, prácticamente desconocido en el país. Ganó el concurso y obtuvo sus primeros ingresos, que invirtió en la construcción de dos casitas en la Up-Town de Manhattan, naturalmente con bóvedas tabicadas. Más tarde ganó también una parte del concurso para el Arion Club de Nueva York y algunas otras obras privadas. Después de cinco años de dificultades y esfuerzos había colocado su sistema en la línea de salida.[32]

Sería necesario estudiar a fondo la trama de relaciones que, además de sus esfuerzos, permitieron que Rafael Guastavino saliese airoso de una empresa tan difícil. Todavía hoy parece increíble. Pero el caso es que a partir de aquel momento los contratos empezaron a llegar de toda la costa Este, sobre todo de las áreas de Boston y Nueva York. Por entonces su hijo Rafael ya trabajaba en la empresa, la cual adoptó un agresivo dispositivo publicitario. Llegaba así la colaboración con diversos arquitectos de renombre, entre ellos el grupo más notable de los Estados Unidos, McKim, Mead & White, que le encargaron, entre otras obras, la construcción de la Biblioteca Pública de Boston empleando las bóvedas tabicadas en sus techos. Éste fue uno de los edificios más emblemáticos que se levantarían en la década y proporcionó un gran prestigio a Guastavino, que abrió una oficina en Boston, contrató a un contable, William Blodgett, para que pusiera orden en el desbarajuste de su economía, y fundó con él la «Guastavino Fireproof Construction Company», que explotaría las técnicas de la construcción tabicada previamente patentadas: la bóveda, el tabique, la escalera, etc., hasta dieciocho en tiempos de Guastavino, que después fueron ampliadas a veinticinco por su hijo.[33]

El asunto de las patentes fue muy controvertido, en América y en Cataluña, ya que, a grandes rasgos, se trataba de la patente de una técnica tradicional. Él mismo dedicó algunas páginas a justificarlo, explicando que las patentes se habían concedido gracias a la utilización de nuevos morteros.[34] En América, una patente significaba asumir unas responsabilidades y, en cierto modo, una garantía de calidad sobre el producto; pero también justificaba el control de la competencia. Desde Barcelona, esto se veía como una apropiación, con fines lucrativos, de una técnica que era patrimonio popular. De hecho, y como ya se ha dicho, nadie como Guastavino había protagonizado aquella conversión de las bóvedas tabicadas en una técnica moderna, distinta de la tradicional. Además, América era otro mundo.

Sin embargo, muchas de aquellas patentes nunca llegaron a desarrollarse. Su trabajo se basó sobre todo en

la utilización de la bóveda en todas sus variantes geométricas. Sería necesaria una investigación a fondo para afirmarlo con rotundidad, pero parece que el proyecto de convertir las técnicas tabicadas en un sistema de construcción total no prosperó, y en cuanto a las paredes, Guastavino siguió utilizando el ladrillo al modo tradicional.

En 1890 se produjo una fuerte crisis económica y la Guastavino Fireproof Company la superó con muchas dificultades y renació con el nombre de Guastavino Company. Luego volvieron los buenos tiempos, los contratos llovieron de nuevo y la colaboración con arquitectos importantes continuó. Había llegado el momento de construir una fábrica de ladrillos propia que permitiera un mayor control técnico, artístico y de mercado del material, pues la producción americana no daba abasto para tantos pedidos.

La fabricación de ladrillos se probó en una finca de cien hectáreas que Guastavino había comprado en Black Mountains, cerca de Ashville, en el estado de Carolina del Norte. Precisamente allí Rafael Guastavino se había construido una casa —ésta de madera— para vivir con Francisca Ramírez, la institutriz mejicana que había conocido unos años antes y con la que acabaría casándose. Las pruebas fueron satisfactorias y la fábrica se instaló finalmente en Woburn (Massachusetts), cerca del domicilio de Blodgett. Allí se fabricarían enormes cantidades de ladrillos estructurales y decorativos.[35]

El negocio estaba cada vez más en manos de su hijo cuando, en 1908, Guastavino, que pasaba largas temporadas en su casa de Carolina del Norte, no pudo superar una afección pulmonar y falleció. Tenía sesenta y seis años, y llevaba veintisiete residiendo en los Estados Unidos. En ese tiempo se habían realizado buena parte de sus aspiraciones, y estaba a punto de iniciarse la construcción de la gran catedral de St. John the Divine, una obra emblemática de la arquitectura americana, con una cúpula de unos cuarenta metros de diámetro, que proporcionaría un gran prestigio a la firma Guastavino.[36]

En aquella época, la relación de obras importantes realizadas por la Compañía era ya notable. Más tarde se editaría un cartel publicitario con las principales bóvedas levantadas entre 1897 y 1911, la mayor parte, pues, en vida de Guastavino, que no dejaba lugar a dudas sobre el éxito de la *Guastavino vault*. La lista de dichos trabajos, acompañada de los nombres de los arquitectos que las habían proyectado, constituye, como puede apreciarse, un inventario de los edificios más importantes que Rafael Guastavino Moreno construyó en América.[37] Sin embargo, no hay que olvidar que estos edificios representan sólo una muestra del total de edificios que acabaría construyendo la empresa que él fundó. La relación del cartel es la siguiente, y entre paréntesis se indica la luz de la bóveda correspondiente.

1897 New York University, Bronx, Nueva York, con McKim, Mead & White (17,07 m).
1897 Virginia University, Charlottesville, Virginia, con McKim, Mead & White (21,34 m).
1901 Institute of Arts & Sciences, Brooklyn, Nueva York, con McKim, Mead & White (19,51 m).
1903 Bank of Montreal, Canadá, con McKim, Mead & White y A. T. Taylor (21,03 m)
1904 Madison Square Presbiterian Church, Nueva York, con McKim, Mead & White (14,02 m).
1905 St. Paul's Chapel, Columbia University, Nueva York, con Howells and Stockes (15,85 m).
1905 Rodef Sholem Synagogue, Pittsburgh, Pennsylvania, con Palmer y Hornbostel (27,43 m).
1906 McKinley National Memorial, Canton, Ohio, con H. Van Buren Magonigle (17,07 m)
1906 Elephant House, Bronx Park, Nueva York, con Heins y La Farge (10,36 m).
1906 Smithsonian Museum, Washington, D. C., con Hornblower & Marshall (24,38 m).
1907 Girard Trust Co., Filadelfia, Pennsylvania, con McKim, Mead & White y Allen Evans (30,78 m).
1908 St. Francis de Sales Church, Filadelfia, Pennsylvania, con Henry D. Dagit (18,59 m).
1908 Cathedral St. John the Divine, Nueva York, con Heins & La Farge (41,15 m).
1909 St. Barbara Church, Brooklyn, Nueva York, con Helmle & Huberty (13,11 m).
1909 J. J. Jermain Memorial Library, Sag Harbor, Nueva York, con Augustus N. Allen (9,14 m).

Efectivamente, después de la muerte de Guastavino, la empresa seguiría dando mucho que hablar. Dirigida por su hijo, continuó construyendo con bóvedas tabicadas y se especializó en el uso de materiales de acabado, fabricados en su tejería de Woburn, con grandes propiedades para el aislamiento acústico gracias a una fructífera colaboración con el profesor Sabine del Departamento de Acústica del Massachusetts Institute of Technology. Durante los años veinte, con el *boom* de la construcción, la empresa hizo grandes negocios. En 1929 se produjo una nueva crisis, que una vez superada, abrió otra etapa floreciente. Cuando Rafael Guastavino Expósito envejeció, la empresa pasó a manos de su hija y del hijo de Blodgett. El hijo de Guastavino murió en 1950, pero la Compañía no se liquidaría hasta el año 1962.[38]

En el inventario de sus trabajos, incluida la primera etapa de la Guastavino Fireproof Construction Company, se han contabilizado más de un millar de edificios, construidos sobre todo en la costa Este de Estados Unidos y también en el resto de la Federación, Canadá,



Figura 5
Éstas son las quince principales bóvedas levantadas por Rafael Guastavino & Co. entre 1897 y 1911. Trece de ellas fueron construidas en vida de Rafael Guastavino padre, que murió en 1908, cuando se empezaba a construir la más grande, la de St. John the Divine, de 41,15 m de diámetro, que corresponde al edificio más alto en el centro de la fotografía. (Archivo Guastavino, Avery Architectural & Fine Arts Library, Columbia University, Nueva York)

Méjico e incluso India. Cuando en 1900 fueron elegidos los diez edificios más bellos de Estados Unidos, en la mayoría había intervenido, de un modo u otro, Rafael Guastavino. Más tarde, en 1967, el American Institute of Architects expuso los treinta y ocho edificios más importantes de Manhattan de los treinta años anteriores. De los veintidós que se habían construido antes de la segunda guerra mundial, más de la mitad los había realizado la compañía.[39]

En los últimos tiempos el empleo de la construcción tabicada empezó a decaer. De hecho, no pudo resistir, como Guastavino probablemente temía, el incremento del coste de la mano de obra especializada. La difusión del hierro y más tarde del hormigón armado era un hecho irreversible. La evolución tecnológica no había seguido el curso que Guastavino deseaba, porque los procedimientos de trabajo tenían que ser cada vez más intensivos en capital y menos en mano de obra. Pero él había encontrado su momento.

Las publicaciones y el trabajo científico

En Estados Unidos, Guastavino pudo satisfacer también buena parte de su curiosidad científica, no sólo porque allí sí era posible establecer un proceso experimental, sino porque la competencia de la sociedad americana exigía una mejora constante del proceso de trabajo y de los resultados.

En cuanto fue posible, se iniciaron los ensayos que determinarían el coeficiente de trabajo en los esfuerzos de compresión, tracción y esfuerzo cortante de la sección material de la bóveda, con el fin de establecer, en el laboratorio, unos promedios fiables. Con la colaboración del profesor A. V. Abbot, Guastavino realizó distintas series de pruebas en el Departamento de Ensayos y Experimentos de la Fairbank's Scale Company de Nueva York, entre mayo y junio de 1887.

Gracias a estas series, aplicando las fórmulas clásicas de la construcción de gravedad y con ayuda de la estática gráfica, fue posible calcular teóricamente las condiciones materiales y formales de bóvedas y cúpulas tabicadas. Además, Guastavino demostró el mejor comportamiento de las cúpulas frente a las bóvedas de cañón rebajado.

Pero lo que en realidad Guastavino había intuido ya desde el principio era la mayor resistencia de la construcción cohesiva respecto de la construcción de gravedad. Había comprobado que, colocadas con cemento portland, las hojas de ladrillo se comportaban como un cuerpo homogéneo que distribuía superficialmente las presiones soportadas y que trabajaba con mayor rendimiento y menos empuje que una construcción de gravedad. Él explicó y demostró, por ejemplo, que las bovedillas —en un caso de forjado con vigas— trabajan como una sola pieza y, por tanto, cuanto más peraltadas, mayor esfuerzo exigen a las vigas de soporte.

De este modo, basándose en los ensayos empíricos que iba realizando en las obras, corrigió el aparato teórico empleado —adecuado para el cálculo de la construcción de gravedad—, teniendo en cuenta las fórmulas que se utilizaban para calcular elementos de material homogéneo, partiendo del supuesto de que la bóveda era, salvando las distancias, como una especie de lámina de hierro. De este modo obtuvo resultados más próximos a la realidad.

Todos estos estudios permitieron que Gaetano Lanza, profesor de Mecánica Aplicada del Massachusetts Institute of Technology de Harvard, confeccionara unos ábacos de cálculo que indican, de manera automática, las distintas tensiones que se producen en las bóvedas corrientes, con una flecha del 10 % de la luz, suponiendo una carga uniformemente repartida.

De hecho, las primeras teorías sobre las láminas habían sido enunciadas por Navier y otros hacia 1828,

pero los sistemas de cálculo, que resultaban de la aplicación de aquellas teorías a las bóvedas delgadas, no estarían a punto hasta principios del siglo XX. Esto nos permite considerar a Rafael Guastavino como un personaje del siglo XIX, intuitivo y práctico, que analiza el comportamiento de unas técnicas para inducir de ellas unas leyes generales aplicables.

Este proceso de puesta a punto de la forma y las dimensiones de las bóvedas y cúpulas también suscitó en él una serie de reflexiones sobre los problemas de su ejecución material. En sus escritos había expuesto ampliamente las dificultades que comportaba la ausencia de una tradición constructiva americana, que hacía necesaria la importación de albañiles de Cataluña. Atento a esos problemas, Guastavino se preocupó de los aspectos más minuciosos de la puesta en obra y se interrogó sobre cuestiones esenciales de la práctica constructiva que en nuestro país la rutina había impedido plantear: cómo se comportaban el mortero y el cemento, el tiempo de fraguado y sus condiciones, la cantidad de agua que debía emplearse, etc.; y también sobre las condiciones de la mano de obra en el momento de construir y la capacitación de los arquitectos para proyectar.

Todas estas reflexiones, experimentos, procedimientos de cálculo y resultados fueron divulgados en conferencias y posteriormente publicados, primero en revistas especializadas y después en dos libros. Asimismo, las propuestas de Guastavino se recogieron en diversos textos técnico-científicos de la época.[40]

El primer libro, *Cohesive Construction,*[41] fue escrito a partir de dos conferencias: la que le pidió la Society of Arts del Massachusetts Institute of Technology de Boston en octubre de 1889[42] y la que también le solicitó el Thursday Club en enero de 1890.[43] Si bien en principio ambas conferencias aparecieron en la revista *The American Architect and Building News*, más adelante, en 1892, fueron ampliadas y publicadas en forma de libro.

Este volumen recoge la mayor parte del pensamiento científico de Guastavino. En él se define la construcción cohesiva y su teoría, se exponen sus ventajas y se relacionan las aplicaciones del nuevo sistema a toda clase de edificios. Además, también en esta obra se explican las ideas sobre la construcción tubular expuestas en la Exposición de Filadelfia de 1876.

Es probable que la edición de *Cohesive Construction* guardara relación con la Exposición Universal de Chicago de 1892, en cuyo seno se celebró el II Congreso Internacional de Arquitectos. La editorial Ticknor era la misma que publicaba la revista anteriormente citada, y probablemente Guastavino tenía interés en que los asistentes al congreso dispusieran de una información más científica relacionada con la ponencia que él iba a presentar sobre su sistema de construcción.

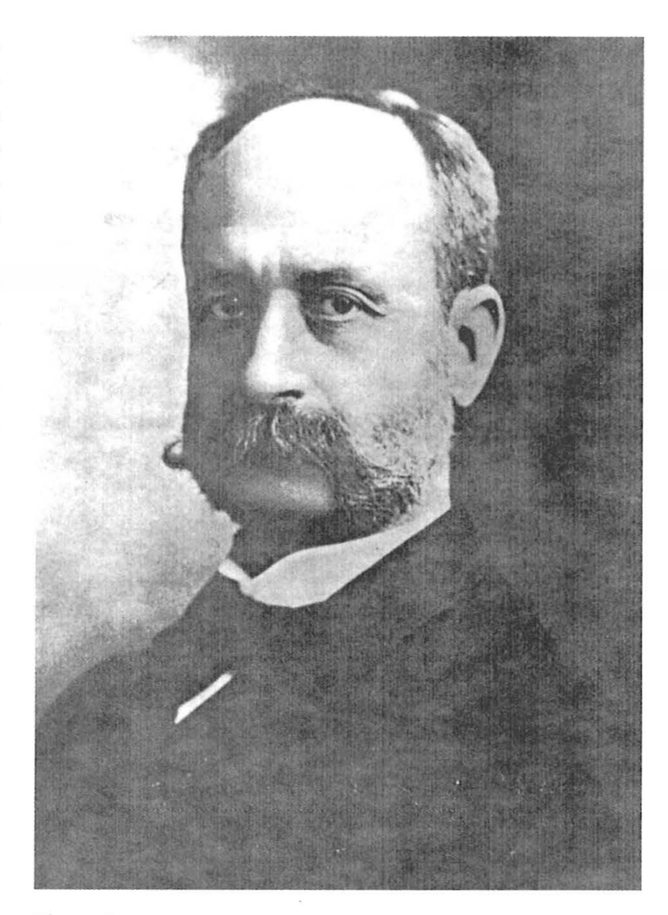


Figura 6
Rafael Guastavino Moreno en una fotografía que corresponde a los años de mayor actividad profesional en Estados Unidos. (Archivo Salvador Tarragó)

La ponencia de Guastavino en aquel congreso se titulaba «Cohesive Construction: Its Past, Its Present, Its Future?».[44] Dirigida a los arquitectos, se trataba fundamentalmente de una exposición histórica que avalaba el uso presente y futuro de la construcción cohesiva. La mayor parte del texto de esa ponencia fue editado en el segundo libro de Guastavino, *Function of Masonry.*[45]

Este segundo volumen consta de dos partes: la primera, *Prolegomenos*, fue publicada en 1896, todavía con la resaca del Congreso de Chicago, y en ella se trasluce ya la pugna de la construcción cohesiva con el hierro y el hormigón armado.

La segunda parte fue publicada seguramente a partir de la revisión de un texto, *Fonction de la maçonnerie dans les constructions modernes*, que el mismo Guastavino había enviado al Congreso Internacional de Arquitectos de 1904, celebrado en Madrid, y que no fue editado hasta 1906 en francés,[46] Se trata de una exposición técnica de las ventajas de la construcción cohesiva con el trasfondo de la competencia con el hierro y el hormigón armado. En este volumen se ponen de manifiesto

todas las reflexiones científicas sobre el comportamiento de los materiales y su aplicación.

Además de las publicaciones citadas se conocen los artículos de Guastavino en *Decorator and Furnisher*, que tratan de arquitectura y decoración *revival*,[47] y otro artículo en *The American Architect and Building News* sobre su pabellón en la Exposición de Chicago.[48]

La repercusión en España y Cataluña

A pesar de que en su propio país el reconocimiento a Rafael Guastavino nunca fue explícito, él siempre mantuvo relación con Cataluña y España aun estando en América. Por ejemplo, se le encargó el pabellón oficial español en la Exposición Internacional de Chicago de 1893, que firmó juntamente con el arquitecto valenciano Enric Dupuy, por entonces delegado español en la Exposición Colombina. Construyeron una réplica de la Lonja de Valencia, una propuesta que pareció adecuada para conmemorar el cuarto centenario de la llegada española a América, que coincidía con la Exposición.

Entre sus contactos se encuentra Mariano Belmás, arquitecto y senador madrileño dedicado a la prensa especializada, que lo representó en el Congreso Internacional de Arquitectos que se celebró en Madrid en 1904. Para este certamen Guastavino envió la ponencia ya citada, que al parecer iba acompañada de un impresionante álbum de fotografías de sus obras americanas que, años más tarde, pasó a manos del arquitecto Luis Moya, quien lo utilizó para escribir e ilustrar su libro *Bóvedas tabicadas*, publicado en 1947.[49]

En ese mismo congreso Puig i Cadafalch pronunció su famosa conferencia sobre «arquitectura catalana», en la cual se hacía alusión al repertorio constructivo decantado en Cataluña y, naturalmente, a las técnicas del ladrillo, que formaban una parte sustancial de dicho repertorio y que validaban el nombre de «bóveda catalana» con el que recientemente habían bautizado en España la bóveda tabicada. En esta conferencia Puig elogió el trabajo de Guastavino.

En Barcelona ya hacía años que profesores y estudiantes de la Escuela de Arquitectura visitaban la fábrica Batlló durante el curso académico. A partir de la década de los ochenta, las técnicas del ladrillo y, sobre todo, la bóveda, se habían incorporado a la nueva construcción catalana. Precisamente durante las cuatro décadas a caballo entre ambos siglos se desarrolló la denominada arquitectura modernista, en la que destacan varios arquitectos que proyectaban con bóvedas tabicadas, entre ellos el mismo Antoni Gaudí, o que se inclinaban por la construcción mixta de hierro y ladrillo que Guastavino llamaba «ladrillo atirantado», como por ejemplo, Lluís Domènech i Montaner. Los modernistas llevaron las técnicas del ladrillo a su máxima expresión. Lo que en América parecía complicado en Cataluña resultaba extremadamente sencillo.

Cuando a principios de siglo se retomaron en Cataluña los estudios teóricos sobre la bóveda, con el propósito fundamental de esclarecer su misterio, tratando de averiguar por qué se sostenía y cómo se podía calcular, las publicaciones de Guastavino constituyeron un punto de partida.

En 1900 Domènech i Estapà intentó corregir el cálculo clásico de la bóveda.[50] Diez años más tarde, Jeroni Martorell proponía lo mismo, citando ampliamente la obra y los escritos de Guastavino.[51] Jaume Bayó aplicó la teoría de la elasticidad y consideraba las bóvedas como láminas flexibles, siguiendo a Guastavino.[52] Fèlix Cardellach daba a la bóveda esta misma consideración de lámina de hierro, y se refería también a la construcción cohesiva en los términos propuestos por Guastavino.[53] Aunque desde una posición distinta, las reflexiones de Joan Rubió y los gaudinistas se pueden entender también en el marco del *feed-back* que la experiencia de Guastavino propiciaba.[54] En 1923, Esteve Terradas partió de Guastavino en sus investigaciones, que asimilan la bóveda a una lámina curva.[55] Posteriormente, en su discurso de ingreso en la Acadèmia Catalana de Belles Arts de Sant Jordi, Josep Goday reconoció a Guastavino como pionero en la modernización de las técnicas del ladrillo y comentó sus aportaciones teóricas.[56]

Después de la guerra civil, con el resurgimiento de la construcción tabicada provocado por la autarquía, hemos de citar el opúsculo de Bonaventura Bassegoda Musté y el libro de Luis Moya, ambos de 1947, que se refieren explícitamente a la aportación de Guastavino y, en el caso de Moya, se publican las ilustraciones anteriormente citadas. También hay que mencionar el libro de Ángel Pereda Bacigalupi (1951) *Bóvedas tabicadas*. Finalmente, en fecha tan tardía como 1965, Bergós[57] reproduce las fórmulas de Guastavino que ya había publicado con anterioridad.[58]

Debe hablarse aún de un último episodio de gran trascendencia para la industria de la construcción catalana y española. Nos referimos a la creación de Asland, la materialización de la idea, tal vez sugerida por Guastavino, de explotar una industria de fabricación de cemento pórtland, la primera en Cataluña y una de las primeras en España, en 1901, en Castellar de N'Hug. Incluso es posible que Guastavino redactara el proyecto arquitectónico de la fábrica, realizada con bóvedas tabicadas y estructura metálica. Se conocen los contactos, a través del ingeniero Pedraza de la Pascua, del conde de Güell con América, donde se adquirió la maquinaria y el modo de hacer. Y se sabe de la participación de Guastavino en esos contactos.[59]

Historiografía y fuentes de archivo

El conocimiento y la posibilidad de estudiar la obra de Rafael Guastavino se deben en gran parte al trabajo del profesor George Roseborough Collins (Massachusetts, EUA, 1917-1993).

El profesor Collins ejerció la docencia en historia del arte en la Universidad de Columbia (Nueva York) desde 1946 hasta su jubilación en 1986, aunque continuó trabajando hasta el año 1988, cuando ya era evidente la larga enfermedad que lo llevaría a la muerte en 1993. En 1977 había sido nombrado Doctor Honoris Causa por la Universitat Politècnia de Catalunya y en 1991, miembro correspondiente de la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona.

Interesado por la obra de Antoni Gaudí, George R. Collins estableció una estrecha relación con Cataluña y, a partir de 1960, sus investigaciones, sus publicaciones y su trabajo de divulgación actuaron como uno de los detonantes de la explosión de popularidad que experimentaron la obra del gran arquitecto y también el arte y la arquitectura del Modernismo catalán en el mundo de habla inglesa y, consecuentemente, su inclusión en el debate cultural contemporáneo.

Los aspectos biográficos de Collins se ponen de manifiesto en la conferencia que pronunció el arquitecto Jordi Bonet en las Jornadas de Estudio Catalano-Americanas celebradas en Barcelona en mayo de 1993. Jordi Bonet Armengol mantuvo una larga amistad personal con el profesor Collins y es uno de los integrantes del grupo de amigos catalanes, que contribuyó al amplio conocimiento que el profesor americano tenía de la cultura catalana histórica y contemporánea.[60]

Collins había fundado, en 1958, la asociación «Amics de Gaudí-USA» y creado el Archive of Catalan Art and Architecture,[61] un fondo documental sobre Gaudí y el tiempo del Modernismo que se ha ido enriqueciendo con los años y que ha constituido el laboratorio de diversos e importantes trabajos.

Una parte de este archivo la formaba también la documentación de la Guastavino Company que Collins había salvaguardado adquiriéndola para la Universidad de Columbia entre los años 1962 y 1963, cuando la empresa se disolvió.

En 1968, Collins publicó, en el número 3 del volumen XXVII del *Journal of the Society of Architectural Historians*, el artículo «The Transfer of Thin Masonry Vaulting from Spain to America» (véase la traducción al castellano de este artículo en el presente catálogo: «El paso de las cáscaras delgadas de fábrica de España a América»), que constituye la fuente principal de la mayoría de noticias que con posterioridad han aparecido sobre la obra de Rafael Guastavino.

Este artículo parece haber sido escrito a raíz de la progresiva emergencia de posiciones organicistas en la arquitectura moderna, que tenían en el expresionismo tecnológico uno de los caminos más atractivos. La actualidad de las membranas de hormigón (Torroja, Candela, Nervi, Saarinen) o incluso de las mismas bóvedas tabicadas (Dieste, Porro o el mismo Bonet en Cataluña, por ejemplo) confería en la década de los sesenta un interés actual a las históricas aplicaciones de Guastavino. La misma especialización en la arquitectura de Gaudí y el Modernismo (del que la bóveda tabicada fue una técnica fundamental) explica también el interés del doctor Collins en el tema que nos ocupa.

El artículo de 1968 parecía anticipar una sucesión de publicaciones sobre la obra de Rafael Guastavino, a la vista de la gran cantidad de material documental existente, de la importancia del constructor en la arquitectura americana de antes de la guerra y de la necesidad entonces creciente en Cataluña de descubrir las claves culturales del pasado. Se anunciaba una monografía de aparición inmediata, encargada al mismo profesor Collins por el Colegio de Arquitectos de Cataluña y Baleares, que no llegaría a publicarse.

Desde Cataluña, los profesores Joan Bassegoda y Salvador Tarragó han divulgado la obra y la personalidad del constructor, aportando el profesor Bassegoda datos importantes de la etapa barcelonesa de Guastavino. Últimamente, desde las instituciones catalanas se han tomado algunas iniciativas.

La Conselleria de Cultura de la Generalitat de Catalunya concedió, en 1987, una beca para inventariar la documentación del Catalan Archive; las ya mencionadas Jornadas de Estudio en las que, además de la conferencia del señor Bonet, el profesor Joan Bassegoda pronunció otra titulada «Rafael Guastavino en América»; y, finalmente, la exposición Catalonia-Nueva York, en la que se glosaba la personalidad del constructor.

En la actualidad, el conocimiento de Rafael Guastavino está ya muy difundido, y desde Alemania, Italia y Estados Unidos se estudia y divulga su obra.

En 1989 la mayor parte del Catalan Archive pasó de la Universidad de Columbia al Art Institute de Chicago (Ryerson and Burnham Library), donde hoy puede consultarse con el nombre de «George R. Collins Archive of Catalan Art and Architecture». Pero el fondo de la Guastavino Company ha permanecido en Nueva York, donde en estos momentos se encuentra en fase de catalogación e integración en la Avery Library de la Universidad de Columbia.

Agradecimientos

El presente trabajo es deudor de la colaboración desinteresada de varias personas, que cito como muestra de agradecimiento: Joan Bassegoda, Jordi Bonet y Salvador Tarragó, que ya he

mencionado en el texto; Angela Giral, directora de la Avery Library de la Columbia University de Nueva York; Dolors Ponsati y Carme Farràs, bibliotecarias del Centro de Documentación Josep Renart de Barcelona; Xavier Costa, Lluís Aragonés, Jaume Freixa, Montserrat Bosch y Alberto Casàs, que me ayudó en la búsqueda documental; e Ignasi de Solà-Morales y, especialmente, Pere Hereu, que me han aconsejado sobre el enfoque del trabajo.

Este artículo fue publicado en AA.VV, *Ciència i Tècnica als Països Catalans: una aproximació biogràfica*, 494–522, Barcelona: Fundació Catalana per a la Recerca, 1995. La versión castellana, revisada por el autor, para esta edición es de Ana Quijada.

Notas

1. Rafael Guastavino Seidel, *The Guastavino Family*, 1970. Hemos consultado un escrito mecanográfico enviado por el profesor G. R. Collins al profesor S. Tarragó, al que agradecemos su deferencia).
2. Ibídem
3. Anónimo, «Valencianos sobresalientes. Nuestros arquitectos: Rafael Guastavino», *Las Provincias,* Valencia (20 de septiembre de 1898).
4. P. B. Wight, «The Works of Rafael Guastavino», *Brickbuilder*, Nueva York (abril, mayo, septiembre, octubre de 1901).
5. R. Guastavino, *The Guastavino Family.*
6. R. Guastavino, *Essay on the Theory and History of Cohesive Construction,* Boston: Ticknor, 1892.
7. J. Bassegoda Nonell, «Els estudis de Guastavino», *Temple,* Barcelona (septiembre-octubre de 1993); J. Bassegoda Nonell, «Els Guastavino a Amèrica», *Jornades d'Estudi Catalano-Americanes,* Barcelona, 1993. Inédito.
8. *Catálogo general de los objetos que figuran en la Exposición de Agricultura, Industria y Bellas Artes, inaugurada el 24 de septiembre de 1871 por S. M. El Rey don Amadeo I en el local de la nueva Universidad de Barcelona,* Barcelona, 1871.
9. «Catalogue General de le Secteur Espagnol», *Exposition Universelle a Vienne,* Viena, 1873.
10. J. Bassegoda Nonell, «El bicentenario de los Estados Unidos de Norteamérica. Aportación catalana a la Exposición de Filadelfia», *La Vanguardia* (9 de junio de 1976).
11. J. Bassegoda Nonell, «Els estudis de Guastavino»; J. Bassegoda Nonell, «Els Guastavino a Amèrica».
12. Ibídem
13. F. Nacente, *El constructor moderno. Tratado teórico y práctico de Arquitectura y Albañilería,* Barcelona, 1888; F. Rogent Pedrosa, L. Domènech i Montaner, *Arquitectura moderna de Barcelona,* Barcelona: Parera y Cía., 1897.
14. J. M. Montaner i Martorell, *L'ofici de l'Arquitectura,* Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya, 1983.
15. Ibídem.
16. Ibídem.
17. P. Hereu i Payet, *Vers una Arquitectura nacional,* Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, 1987.
18. F. Cabana, A. Feliu, *Can Torras dels ferros 1876–1985. Siderurgia i construccions metàl.liques a Catalunya,* Barcelona: Tallers Gràfiques Hostench, S.A., 1897.
19. J. Bassegoda Amigó, «Transició de les voltes de pedra a les de maó de pla en les esglèsies de Catalunya». *Memories de la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona,* tercera época, 25, nº 15, Barcelona (1936).
20. R. Guastavino, *Cohesive Construction.*.
21. Ibídem.
22. Ibídem.
23. Ibídem.
24. B. Bassegoda Amigó, «Nota necrológica. Arquitectos fallecidos durante los años 1910 y 1911», *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña,* Barcelona (1911).
25. J. Goday, *Estudi hit'ric i mètodes de càlcul de les voltes de maó de pla,* Barcelona: Acadèmia Catalana de Belles Arts de Sant Jordi, 1934.
26. G. R. Collins, «The Transfer of Thin Masonry Vaulting from Spain to America», *Journal of the Society of Architectural Historians,* 27, Filadelfia (1968). Traducción al castellano, en este mismo catálogo: «El paso de las cáscaras delgadas de fábrica de España a América».
27. R. Guastavino, *The Guastavino Family.*
28. R. Guastavino, *Cohesive Construction.*
29. R. Guastavino, «The Building of the Spanish Government at the World's Fair», *The American Architect and Building News,* 41, Boston (15 de julio de 1893); «The Cohesive Construction. Its Past, Its Present, Its Future?», *The American Architect and Building News,* Boston (26 de agosto de 1893).
30. R. Guastavino, *The Function of Masonry in Modern Arqchitectural Structures,* Boston: American Printing Co., 1904. Existe una edición de 1905 en español.
31. Varios artículos de R. Guastavino en *The Decotrator and Furnisher,* Nueva York, 1882-1883.
32. G. R. Collins, «The Transfer of Thin Masonry Vaulting».
33. Ibídem.
34. R. Guastavino, *Cohesive Construction.*
35. G. R. Collins, «The Transfer of Thin Masonry Vaulting».
36. R. Guastavino, *The Guastavino Family.*
37. G. R. Collins, «The Transfer of Thin Masonry Vaulting».
38. R. Guastavino, *The Guastavino Family.*
39. G. R. Collins, «The Transfer of Thin Masonry Vaulting».
40. L. de C. Berg, *Safe Building: A Treatise Giving in the SimplestsForm Possible the Practical and Theoretical Rules and Formulae Used in the Construction of Buildings,* Boston: Ticknor and Co.1889-1890.
41. R. Guastavino, *Cohesive Construction.*
42. R. Guastavino, «The Theory and History of Cohesive Construction», *The American Architect and Building News,* 26, Boston (16 de noviembre de 1889)
43. R. Guastavino, «Cohesive Construction: Applications-Industrial Sections», *The American Architect and Building News,* 27, Boston (22 de febrero de 1890).
44. R. Guastavino, «The Building of the Spanish Government»; «The Cohesive Construction. Its Past, Its Present, Its Future?».
45. R. Guastavino, *The Function of Masonry.*
46. R. Guastavino, «Fonction de la maçonnerie dans les cons-

tructions modernes», *Congrés International des Architectes, Madrid, 1904,* Madrid: imprenta de J. Sastre, 1906.

47. Artículos de R. Guastavino en *The Decotrator and Furnisher,* Nueva York, 1884.
48. R. Guastavino, «The Building of the Spanish Government»; «The Cohesive Construction. Its Past, Its Present, Its Future?».
49. G. R. Collins, «The Transfer of Thin Masonry Vaulting»; L. Moya Blanco, *Bóvedas tabicadas,* Madrid: Dirección General de Arquitectura, 1947.
50. J. Dómènech i Estapà, «La fábrica de ladrillo en la construcció catalana», *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña,* Barcelona, (1900).
51. J. Martorell, «Estructuras de ladrillo y hierro atirantado en la Arquitectura catalana moderna», *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña,* Barcelona, (1910).
52. J. Bayó, «La bóveda tabicada», *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña,* Barcelona, (1910).
53. F. Cardellach Alivés, *Filosofía de las estructuras,* Barcelona: Librería de A. Bosch, 1910.
54. J. Rubió y Bellver, «Dificultats per arribar a la síntesi arquitecònica», *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña,* Barcelona, 1913.
55. J. Rosell, I. Serrà, «Els estudis d'esteve Terrades sobre la volta de maó de pla», en *Cinquanta anys de ciència i tècnica a Catalunya,* Barcelona: Institut d'Estudis Catalans, 1897.
56. J. Goday, *Les voltes de maó de pla.*
57. J. Bergós Massó, *Tabicados huecos,* Colegio Oficial de Arquitectos de Cataluña y Baleares, 1965.
58. J. Bergós Massó, *Materiales y elementos de construcción,* Barcelona: Bosch Casa Editorial, 1953.
59. P. Palomar Collado, «En el cincuentenario de la muerte de un prócer catalán: El conde de Güell, promotor de una gran industria nacional», *La Vanguardia Española,* Barcelona (19 de septiembre de 1968).
60. G. R. Collins, «The Archive of Catalan Art and Architecture: Los amigos de Gaudí en EEUU», *Antoni Gaudí (1852–1926),* Barcelona: Fundación Caja de Pensiones, 1985.
61. Ibídem.

Las variaciones históricas de la bóveda tabicada

Salvador Tarragó

Antecedentes lejanos

Los esquimales, cuando construyen sus iglúes con las placas de hielo enroscándolas, sin cimbras, como si de una piel de naranja pelada continua se tratara, no hacen más que aplicar la misma técnica de las bóvedas tabicadas. Fueron las primeras bóvedas autosostenidas de la historia por lo que cabe considerarlos como sus inventores, ¿con una antigüedad del orden de 25.000 años?

Con una sensibilidad y conocimiento por las estructuras más complejas, el hombre primitivo construyó toda una serie de tipologías estructurales, algunas de las cuales no han sido desarrolladas hasta tiempos contemporáneos. Véase el caso de las estructuras pretensadas y las colgantes, de las cuales ya encontramos gran número de aplicaciones de las primeras en las cabañas vegetales, cestas, paneras y en la larga cultura de la cestería (técnica de invención paleolítica), y de las segundas, en los puentes colgantes prehistóricos.

Junto a estas referencias primitivas de construcciones de bóvedas de hielo, de fibras y ramas vegetales, no queremos olvidar las cabañas camerunesas de barro en forma de paraboloide de revolución, hechas a base de bolas de barro con ligante de tamo, que Juan Eduardo Cirlot,[1] nos enseñó como los arcanos de una arquitectura gaudiniana, bóvedas autoportantes de una perfecta unidad de estructura y forma, y con el andamio también de barro incorporado a la solución final como elemento decorativo. Estos monumentos de arquitectura popular, son la cumbre emergente de todo un patrimonio construido de tierra cruda de paredes delgadas del África subsahariana que, tanto por su material fácilmente moldeable, como por la profunda sensibilidad táctil de sus habitantes, ha generado una arquitectura topológica, orgánica, curvilínea y cóncava, profundamente antrópica y gaudiniana.

Unos restos del testimonio de este patrimonio de barro en sus fronteras norte mediterráneas lo hemos podido vivir aún directamente, representado por las cubiertas de barro y tamo de los pajares de trigo en Tortosa (pastado directamente en tierra con los pies descalzos, gracias a la finura de los limos depositados en las terrazas inundables del Ebro y extendido con las manos directamente), y los revocos de las paredes de las cabañas del Delta del Ebro de una eficacia térmica sorprendente con solamente 4 cm de grosor, cañas incluidas.

Según sea el pensamiento poligénico o difusionista que se profese sobre los orígenes históricos de las bóvedas tabicadas, será más o menos difícil fijar sus fuentes. Con una concepción de la diversidad de los orígenes de las bóvedas delgadas y un pensamiento suficiente amplio capaz de abarcar tanto las bóvedas curvadas (de 1 ó 2 curvaturas), como las planas estrictas (sean soleras, tabiques, cielos rasos, etc.), e independientemente del material que se utilice, es posible tejer una red de referencias que, tanto cronológica como espacialmente, se extiende, se interpenetra y se interactiva cada vez más a medida que nuestros conocimientos se amplían.

Como iremos viendo a lo largo de este artículo, la diferenciación entre las bóvedas tabicadas y las de rosca no es tan radical como se puede pensar en un inicio. Es un tema que se relativiza cuando las transiciones entre los diferentes espesores se puede matizar bastante y el carácter autoportante de algunas de las de rosca es una propiedad común a las primeras y, dada la importancia constructiva de la autosostenibilidad, es posible contemplar, en algunos casos, las tabicadas como derivadas de las de sardinel.

Una limitación metodológica del análisis histórico efectuado es la consideración excesivamente aisladora de las bóvedas tabicadas del conjunto del organismo estructural del que forman parte. Ello, no obstante, además del propio reconocimiento de las nuevas modalida-

des o variantes de bóvedas tabicadas que irán acaeciendo, no ha de impedirnos valorar su contribución a la conformación de nuevas variantes de tipologías o organismos estructurales.

La estimación profunda por la naturaleza y por la cultura de todos los tiempos y todos los pueblos referidos en este artículo, se complementa con el principio metodológico de valoración histórica que no autoriza juicios sobre una época, fuera de su escala de valores, lo que no priva que se puedan hacer otras interpretaciones de los hechos del pasado, siempre y cuando, sin dejar de respetar aquella regla de oro, no se pretendan dar por definitivos o tomarlos como hipótesis interpretativas cerradas.

Por la bóveda tabicada se entiende hoy, en sentido estricto, la formada mediante el ladrillo puesto de plano y tomada con yeso la primera hoja y dobladas, triplicadas o con más gruesos en función de la luz, con mortero de cemento Portland.

Históricamente en Cataluña, antes de que Guastavino introdujera el mortero de cemento Portland que multiplicó el poder cohesivo de las uniones pudiendo alcanzar mayores luces con menores espesores, los doblados y tabicados se hacían con yeso o mortero de cal.

En Extremadura la bóveda tabicada era comúnmente de una hoja tomada con mortero de cal.

Por extensión, llamamos tabicadas las superficies, curvas o planas, compuestas de una hoja o varias, de piezas prismáticas planas, sean de hielo, cerámica, piedra, yeso, etc. unidas por sus cantos con los pegamentos apropiados sean nieve, yeso, cal, cemento Portland, etc.

Las bóvedas o superficies de poco espesor de barro, arcilla, u otro material, se asocian estructuralmente a las tabicadas.

La Edad Media

Pese a que las aplicaciones cerámicas de las bóvedas de hormigón monolíticas romanas, muy bien explicadas por Choisy,[2] reducen los tableros cerámicos a una función de ahorro de madera de las cimbras y para una más fácil adherencia de los gruesos revestimientos debajo de las bóvedas, somos de la opinión que a pesar del carácter limitado de las experiencias llevadas a cabo por los romanos, no debería subestimarse el papel más activo en algunos casos que estos doblados cerámicos pudieran haber conseguido al rigidizarse con las grandes armaduras de arcos cerámicos ya antes de verter el hormigón, al punto de poder haber permitido la eliminación de las cimbras, así como también el reconocimiento del carácter estructural que los aligeramientos cerámicos a base de ánforas y similares hubieran podido ejercer en los trasdosados.

En fin, atendiendo al carácter restringido de estas experiencias en Italia y en Bizancio después, por los testimonios que conocemos, no nos ha llegado ninguna experiencia de bóvedas de rosca romanas que fertilizara directamente nuestra historia posterior. Las bóvedas de hormigón de Tarragona, tanto del circo como del anfiteatro, así como la del sepulcro de Centcelles, para hablar de los ejemplos de más relieve, no tenían ningún revestimiento cerámico. De manera que no será hasta el periodo gótico que no se encuentran en Cataluña los primeros ejemplos de bóvedas tabicadas.

Relación entre los primeros ejemplos valencianos y catalanes

Pese al desconocimiento de la posible tradición de bóvedas de cerámica andalusí, la primera aparición de las bóvedas tabicadas se documenta, por ahora, a partir del siglo XIV en Valencia.

Por eso hemos de buscar los orígenes próximos de las bóvedas a la catalana, no dentro de la tradición románica de las gruesas bóvedas de piedra y cal, siempre sobre cimbras de caña, tierra o madera, sino directamente dentro de la mentalidad economizadora y racionalizadora de la arquitectura gótica.

Como ya hemos comentado, no se pueden separar las bóvedas a la catalana de las de rosca, como dos entidades constructivas esencialmente diferentes (cierto respeto al carácter autosostenido de las primeras y por las necesidades de cimbras corrientemente en las segundas, cosa que las bóvedas cerámicas bizantinas siempre de rosca no respetan, ya que son también autoportantes), sino que forman parte de una misma técnica constructiva a base de ladrillos tomados con mortero de maneras diferentes según las exigencias de luz, cargas, recursos a gastar, tiempo de ejecución, etc. Como tampoco podemos exagerar demasiado la separación de la construcción abovedada de cerámica, de la piedra, atendiendo que las dos forman parte del mismo patrimonio constructivo de un pueblo que las elige en función de algunos mismos motivos ya citados o por exigencias de representación o estéticas concretas, pero la versatilidad y la intercambiabilidad entre las dos modalidades históricamente se da con frecuencia.

Pero en cualquier caso, históricamente siempre han predominado las razones de economía y sencillez constructiva de las bóvedas tabicadas respecto a las de rosca o las de piedra, como nos encontramos en repetidas ocasiones al estudiar los ejemplos catalanes o extremeños. Solamente a partir de un determinado momento de desarrollo técnico y artístico muy rico y complejo al que llegan las bóvedas a la catalana, tanto las hechas por los dos Guastavino, como se muestra ampliamente en la exposición a ellos dedicada, como las de los mejores ejemplos modernistas, la razón económica, si bien continua siendo cierta, permite olvidarla ante los refinamientos

que se consiguen con una mano de obra extraordinariamente diestra.

Dejando al lado los probables precedentes del sistema de tabicados en la arquitectura popular, como ha señalado Joan Bergós,[3] el primer ejemplo fechado de bóveda de rasilla y yeso lo constituye, como ha señalado el historiador francés Philippe Araguas, el texto de Pedro IV de 1382, donde se refiere su construcción en el palacio real de Valencia, hoy día desaparecido.[4]

El patrocinio real de esta nueva modalidad constructiva que será mantenido en la Capilla Real de la Catedral de Barcelona, de 1407, obra de Arnau Bargués, evidencia el reconocimiento de su importancia desde su nacimiento, tal como refiere Philippe Araguas.

Siguiendo un hilo geográfico, referiremos que la sala capitular del Convento de los Dominicos de la misma Valencia, magnífica pieza de 12 m de lado, que por la esbeltez de sus columnas, ha merecido el nombre de Sala de las Palmeras, mientras los arcos de las bóvedas son de piedra, sus plementos son de ladrillo dispuestos a rosca y fue construida entre 1310 y 1320.[5]

En cambio, en la cubrición del claustro y algunas de sus capillas laterales, encontramos el uso del mismo sistema de arcos de piedra, pero con las plementerías a base de tabicados cerámicos en la construcción de las bóvedas de crucería. Desconocemos su fecha de construcción, pero suponemos que no debe ser muy lejana del de la sala capitular.

Otros ejemplos de plementos tabicados lo constituyen los claustros del convento del Carmen de Valencia y el de la Catedral de Segorte.

En la catedral de Valencia, las plementerias de ladrillo dispuestas a rosca de la nave central, son del siglo XIV, y las del cimborrio de 1419, aunque terminada en el XIX. La iglesia de San Joan (1368) y el convento de la Trinidad, los dos también en Valencia, tienen bóvedas cerámicas, en particular, la tribuna de la reina (1446), presenta una bóveda tabicada con las piezas cerámicas vistas y colocadas con mucho esmero.

Con todos estos ejemplos de bóvedas de crucería góticas con plementerías de rosca y tabicadas a la vista en muchos casos, más otras actuaciones también de ladrillos que hay en Valencia, se comprende más fácilmente la libertad de uso que Guastavino hizo de ellas, dejándolas, siempre que pudo, vistas en sus diversas obras.

George R. Collins, en un artículo fundamental para el estudio de los Guastavino que referiremos sucesivas veces,[6] corrigiendo una primera relación hecha por T. C. Bannister,[7] ampliaba la lista de bóvedas tabicadas conocidas en Cataluña, fechando algunas según la cronología conocida en la época, como del siglo XIV. Posteriormente, Joan Bassegoda Nonell,[8] tomando este listado como guía, ha podido precisar que las bóvedas tabicadas en Barcelona son más tardías que las de Valencia.

La sala capitular del monasterio de Pedralbes

Bien que la primera bóveda tabicada conocida en Cataluña sea la Capilla Real de la Catedral de Barcelona, como ya se ha mencionado, hecha con tres gruesos de rasilla, los más importantes arquitectos catalanes de bóvedas tabicadas medievales han sido Guillem Abiell y Antoni Nato, sobre todo por la construcción de la sala capitular del monasterio de Pedralbes (1418–1420), así como también, el primero, del claustro del Hospital de la Santa Creu (1407–1417).[9]

La sala capitular del monasterio de Pedralbes (Fig. 1) es una pieza arquitectónica y estructuralmente magistral. De planta cuadrada de 11,50 m, consta de tres plantas: la subterránea cubierta a base de cuatro arcos diagonales de piedra apoyados en el centro en un pilar y las plementerías tabicadas muy rebajadas de dos hojas de ladrillo; la planta baja, casi cúbica (con un exceso de altura de 1,5 m), cubierta por dos bóvedas superpuestas. La principal y techo de la sala capitular, con una bóveda de crucería con arcos de piedra, así como las once primeras hiladas de arranque de la plementería, y el resto tabicadas de dos gruesos y la segunda bóveda, partida en cuatro cuartos también a la catalana, forma la base del suelo del desván y apoyada sobre cuatro paredes diagonales que se intercomunican; y todo cubierto por un tejado piramidal de cuatro vertientes con un pilar central, prácticamente voladas en todo su perímetro gracias a unas aperturas continuas, que constituyen uno de los miradores más completos de Barcelona.

Existe una maqueta seccionada de esta sala capitular, para poder comprender la complejidad y categoría de esta obra maestra, realizada por Pere Hernández, arquitecto, en el Museo del propio Monasterio.

Existen otros testimonios de la utilización de las bóvedas a la catalana en este mismo edificio como las llamadas celdas de día de Santa Marta y la de San Rafael, todas del siglo XVI y situadas en el lado del claustro.

Si bien Joan Bergós[10] fechaba de 1352 las bóvedas de crucería de la planta baja del Hospital de Santa María de Lleida, todas con arcos de piedra y plementería de un grosor de rasilla tomada con yeso, la placa fundacional del edificio fijaba el 1454, siendo autor Andreu Pi, el mismo de la Seu Vella.[11]

En el siglo XVI se hace ya un uso extensivo de las plementerías tabicadas en las bóvedas de arista y en las de crucería: en la iglesia de Santa María del Mar en Barcelona, en los entrepisos de las capillas de la girola. En el Maresme se localizan varias: en 1539 en Calella, las iglesias de Santa María y San Nicolau fueron cubiertas con arcos de piedra y «bóvedas de tierra cocida de ladrillos» para Pere Suaris,[12] en 1540 en Cabrera, la iglesia de San Feliu, es cubierta por Antoni Mateu y Joan Vives, además del coro con el mismo sistema mixto de arcos de piedra y

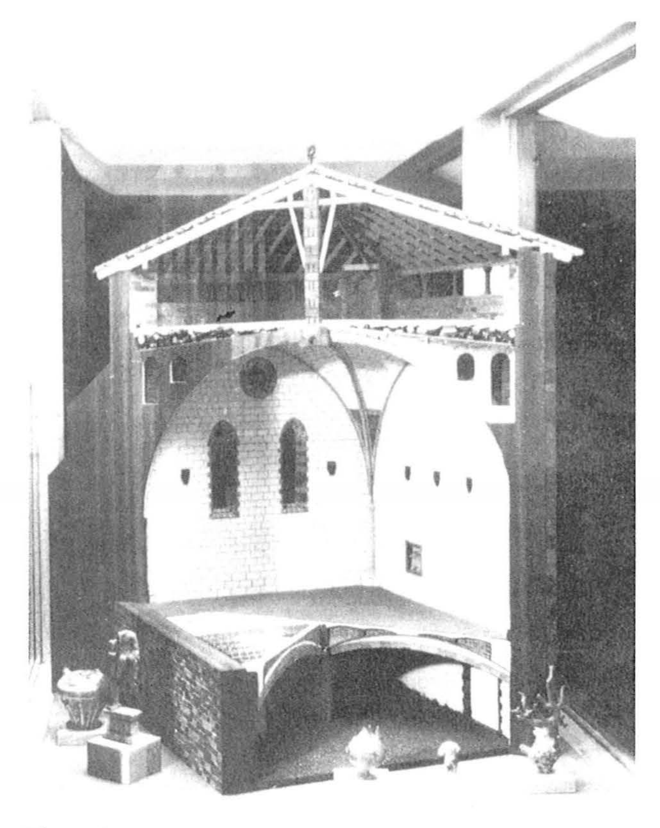


Figura 1
Maqueta de la Sala Capitular del Monestir de Pedralbes

plementerías tabicadas; en Arenys de Munt y Llavaneres pasa lo mismo, con la anécdota de que encontramos como autor, en la última población, a Pere Blai construyendo la iglesia de bóvedas de crucería góticas, cuando 20 años más tarde será el introductor de la arquitectura renacentista en Cataluña; y finalmente, en 1574, en Teià, Antoni Mateu construye la iglesia de San Martí.

La Cartuja de Montalegre (1414–1459), en Tiana, con unos claustros casi renacentistas a base de bóvedas de crucería, aristadas, autoportantes y de rosca, presenta unas estrechas escaleras de caracol muy bien construidas, así como el par de bóvedas de las salas de cada casita de los monjes, hechas todas a base de bóvedas a la catalana.[13]

El Renacimiento

En Cataluña, la figura del arquitecto Pere Blai, ha sido calificada como el Brunelleschi catalán por su estudioso Josep Ràfols,[14] arquitecto e historiador. Creemos que sería más preciso compararlo con Juan de Herrera con quien comparte un clasicismo puro y fuertemente racionalizado, frente a tanto tardogótico y renacimiento anamórfico e isabelino.

Se ha producido un malentendido entre los primeros estudiosos de Blai, como el citado Ràfols o Joaquín Bassegoda Amigó, al atribuirle la introducción en Cataluña no solamente de las bóvedas de cañón y del depurado estilo renacentista, sino, también, de la técnica de las bóvedas tabicadas.

Sorprende la incomprensión, por parte de este último autor, de la prescripción del contrato de 1582, que cita en su artículo, por lo que respecta al espesor de la bóveda de cañón de la iglesia de Sant Andreu de la Selva del Camp, cuando dice «la cual bóveda será de ladrillo y argamasa, con un grosor de tres palmos (60 cm) hecha con lunetos y formeros y aristas, que la punta de ellos (los lunetos), llegue a la tercera parte de la bóveda, de medio punto conforme representa la planta...».[15] Se trata de una bóveda semicilíndrica de rosca de dos hiladas, atendiendo que los ladrillos hacen aproximadamente 30 cm. La práctica de la bóveda tabicada ya era conocida desde hacía, como mínimo, 150 años y el mismo Blai ya la había aplicado en las de crucería ojivales en Llavaneras, veinte años antes, como hemos visto.

Pero lo que posiblemente haya introducido Blai fue la técnica de construcción autoportante de las bóvedas de cañón con lunetos, a base de piezas cerámicas tomadas con mortero de cal, como se evidencia en las bóvedas de la planta baja del Castell Nou de Torredembarra, también de este autor, que por estar sin revestir, se ven directamente las hiladas de ladrillos de canto, diagonales a las directrices, bóvedas típicas de una de las modalidades construidas sin cimbra.

Las de la Selva del Camp están hechas un año después que las de Torredembarra, aunque el revoco de las mismas no nos permite asegurarlo, parece que Blai ensayara por primera vez la aplicación del nuevo sistema de cubrición al tipo de planta de iglesia salón con capillas laterales entre los contrafuertes de la nave única, que ya había experimentado antes con bóvedas de crucería gótica.

Pero piénsese en las dificultades para resolver satisfactoriamente todo el conjunto de detalles que una nueva variante de bóveda autoportante implicaba, aunque en la Cartuja de Montalegre había sido aplicada 130 años antes el sistema de bóvedas de crucería apuntadas, si bien era otra variedad de autosostenida distinta.

Para curarse en salud, Blai dispuso el grosor a base de dos hiladas de ladrillo a sardinel por el lado más largo. A pesar de ello, tuvo problemas. Se produjeron deformaciones y aparecieron grietas que espantaron a los jurados de la población, los cuales pidieron la intervención del Vicario General de Tarragona, que realizó dos convocatorias de peritajes a diversos maestros de obra y arquitectos.

Aunque únicamente se conoce la opinión de los que intervinieron en la segunda convocatoria, es sintomático dos de las objeciones principales que hicieran: la bóveda era para ellos demasiado plana, faltándole cuatro palmos (80 cm) más de punto, teniendo en cuenta el ancho de

los contrafuertes, y era, también, demasiado gruesa, por cuyo motivo originaba un empuje mayor y por tanto, en conjunto, demasiado abierta.[16]

Es importante esta reacción de los maestros tardogóticos consultados, porque es un testimonio directo de su sensibilidad estructural. Falta de flecha y excesivo grosor. Piénsese en el hecho casi permanente a lo largo de toda la historia de Cataluña, de la escasez de recursos económicos para realizar grandes edificios públicos. La excepción han sido las catedrales, las construcciones más gigantescas y espectaculares de nuestro patrimonio histórico que ha tenido un sistema de financiamiento muy extendido socialmente y muy largo cronológicamente. La capacidad de drenar recursos económicos de la sociedad por parte de la Iglesia ha sido ingente. En una época tan próxima como 1716, cuando ya había perdido mucho de su predominio social, únicamente en Barcelona controlaba más del 50% de las rentas urbanas en forma de propiedades directas y deducciones de los alquileres.

Pues bien, con una economía de recursos públicos limitados, la arquitectura estaba obligada a racionalizar en extremo su eficacia en la cobertura del espacio, con secciones mínimas que la construcción gótica resolvió perfectamente. La simplicidad y desnudez del gótico catalán, sin decoración y todo pura estructura, racionalidad constructiva y unidad máxima del espacio interior, es consecuencia de esa disciplina que condicionó no solamente los resultados construidos, sino también la técnica y la autoexigencia del trabajo bien hecho.

Las bóvedas a la catalana son la máxima expresión de la resolución de esta exigencia cuando no había recursos, y si la cosa daba para más, como por ejemplo el cubrimiento de una catedral, entonces era posible realizar bóvedas de crucería góticas con nervios y plementería de piedra. Pero como en el caso de la Catedral de Girona, de casi 23 m de luz, las plementerías solamente se hacían de 15 cm de grosor.

La construcción de bóvedas de crucería góticas tabicadas en el siglo XV y XVI se aplicó a muchos de los edificios románicos y góticos con arcos diafragma y viguería de madera, como por ejemplo en la iglesia del Monestir de Ripoll, en el Palau Menor de Barcelona, etc. Pero las de nueva planta, como las citadas anteriormente, siguen el nuevo sistema. En cualquier caso, cuando la moda renacentista llegó a los ambientes más recónditos, el nuevo estilo no cambia el uso de las bóvedas tabicadas, si es que no venía impuesto por razones de presupuesto o una luz excesiva.

Las bóvedas extremeñas

Existe un importantísimo patrimonio de bóvedas tabicadas en Extremadura de filiación renacentista que sin relación aparente con las catalanas, conviene referir su existencia.

Referidas por Luis Moya, en su magnífico libro,[17] hoy tenemos un conocimiento más completo sobre las bóvedas extremeñas gracias a los estudios de José Sánchez Leal y de Manuel Fortea Luna.[18]

Personalmente, nos ha sido fundamental la labor de José Sánchez Leal, ilustre aparejador extremeño que con profunda vocación ha indagado las supervivencias y los muy diversos ejemplos modernos de sus aplicaciones, conjuntamente a la investigación histórica, bibliográfica [19] y técnica de los estudios existentes, algunos de los cuales son verdaderas aportaciones a la historia de la construcción de las bóvedas autosostenidas. Su sintética referencia presentada en el I Curso de Grandes Bóvedas Hispanas, celebrado en Madrid, demasiado breve y con pocas ilustraciones a causa de las limitaciones de la edición, no permite valorar su extensa labor en la recuperación del conocimiento de un patrimonio tan cuantioso, valiosísimo y versátil en aplicaciones y soluciones, sobre todo de carácter popular.

Cuando en 1986, a través de uno de nuestros alumnos, el arquitecto mejicano Ignacio del Cueto, tuvimos noticias del empleo de una variante de bóveda autoportante extremeña que estaba construyendo en ladrillo un gran arquitecto constructor, también mejicano, Fernando López Carmona,[20] en una iglesia de la periferia metropolitana de Méjico, se nos cerró un círculo abierto cuatrocientos años antes cuando los constructores extremeños emigraron a América.

El propio Sánchez Leal cuenta,[21] como el arquitecto extremeño, Francisco Becerra (1546–1601), autor de las catedrales americanas de Puebla de Méjico, Lima y Cuzco y del Palacio de los Virreyes en Lima, antes de emigrar a América, construyó el Palacio de Santa Marta en su ciudad nativa de Trujillo, siempre a base de bóvedas autoportantes.

La necesidad de referir las bóvedas extremeñas en el presente artículo, se apoya en parte en la formulación de una teoría de las bóvedas cerámicas extremeñas del arquitecto, también de Extremadura, Vicente Paredes Guillén (1840–1946), descubierta en un manuscrito inédito de dicho autor, depositado en el Archivo Histórico Provincial de Cáceres, por José Sánchez Leal.[22] El citado trabajo formula una completa explicación teórica del comportamiento mecánico y características de este tipo de bóveda. Atendiendo la diversidad de clases y variantes de bóvedas autoportantes que existen, y de las cuales no las conocemos todas, no estamos en condiciones de establecer el alcance de generalización de esta teoría de Paredes a todas las bóvedas autoportantes, pero no hay duda que sus definiciones de las hiladas cónico-constructivas y los conos constructivos de estas bóvedas que se construyen sin cimbras, son decisivas.

A partir del trabajo de Paredes,[23] Sánchez Leal concluye que las bóvedas tabicadas extremeñas de forma vaída, pueden considerarse como derivadas de las de rosca, atendiendo a la igualdad de los arranques y la forma general de las mismas (Fig. 2). Este carácter de derivación es importante en tanto que fija una relación de dependencia constructiva además de la económica, ya conocida.

El interés de las bóvedas autosostenidas se basa, a nuestro entender, en que tanto cuantitativamente (la mayor parte de construcciones populares y de autoconstrucción), como cualitativamente hay muchas que son muy importantes. Desde los transparentes iglúes nórdicos; las bóvedas cónicas de piedra en seco, desde las de origen megalítico hasta la de Knosos; la gran tradición mesopotámica y bizantina, con Santa Sofía como referente extremo; pasando por Santa María de las Flores de Florencia, San Pedro de Roma en las plementerias, y muchas de las manifestaciones de cúpulas renacentistas y barrocas; y, finalmente, la construcción de bóvedas a la catalana modernas con las de Guastavino y la eclosión modernista incluidas.

Creemos que es necesaria una conciencia más constructiva e ingenieril por parte de los arquitectos, para valorar la importancia de los medios auxiliares de construcción, como medida de un conocimiento real de la importancia de las estructuras autoportantes.

Un punto final, no menos interesante, es el de conocer los orígenes de esta tradición de bóvedas extremeñas sin cimbras. Por su composición geométrica-constructiva, la filiación bizantina es del todo evidente, a pesar de que el área de influencia directa bizantina no sabemos que llegara a Extremadura en la época medieval.

Existe una semilla, aislada en Galicia, como es la bóveda autoportante, con disposición de los ladrillos de canto en forma de espiga, de la iglesia de Santa Comba de Bande, en Orense, de origen bizantino[24] o mozárabe,[25] al siglo IX como referencia más lejana de la que será muy difícil, por no decir imposible, reconstruir su filiación, pero en cualquier caso el cómo esta semilla de la bóveda cerámica, germinó en medio del pedregal granítico gallego, hasta llegar a extenderse tan generosamente en Extremadura,[26] es todo un misterio para nosotros.

Los ingenieros militares

Francia

Serán ingenieros militares franceses con su espíritu científico, a partir de 1659 con la anexión del Rosellón o Cataluña Norte, a Francia, los difusores de las bóvedas a la catalana o «voûte a la Rousillon» como la llamarán los franceses,[27] a partir de los ejemplos existentes en Perpinyà, que se propagarán después por Llenguadoc.[28]

Charles Fouquet, Mariscal de Campo, atravesando el Llenguadoc en 1718, descubrió estas construcciones tabicadas, concibiendo la idea de utilizarlas en defensas militares, idea que más tarde aplicará a las fortalezas de Metz, Toul y Verdun de donde fue gobernador. Pero no será hasta 1736–1741 cuando construirá el castillo de Bizy, en Vernon, de la mano del arquitecto Contant d'Ivry.

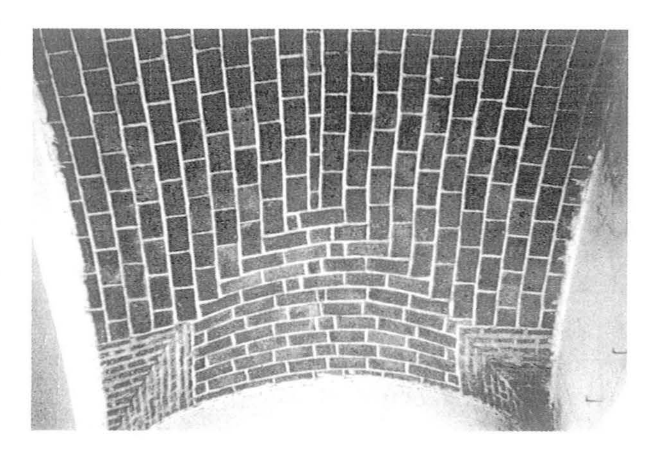


Figura 2
Bóveda de arista tabicada extremeña entre arcos fajones y con arranques en forma de pechinas de 12 hiladas de rosca. Vilafranca de los Barros. Foto cedida por José Sánchez Leal

En 1757, C. Fouquet, nombrado Ministro de la Guerra, impulsó la creación de un nuevo ministerio de la Guerra, la Marina y Asuntos Exteriores en Versalles (1759–1762), llamando para proyectarlo y dirigirlo al arquitecto Jean B. Berthier, Jefe del Cuerpo de Ingenieros Topógrafos Reales (Fig. 3). Excepto las escaleras y corredores, todas las estancias estaban cubiertas con bóvedas «a la Rousillon» a fin de garantizar la incombustibilidad de los archivos y la documentación oficial.[29]

Otro militar retirado, el Conde Félix François d'Espie de Tolosa, será el entusiasta defensor del sistema de las bóvedas tabicadas a partir de su conocimiento de los experimentos de aplicación en el castillo de Bizy, construyéndose una casa propia con el llamado sistema de bóvedas tabicadas que sustituyó a los tejados y desván de madera (Fig. 4). Su economía, ligereza e incombustibilidad le dieron tal prestigio que, primero cerca de la Academia de Bellas Artes de Tolosa a la que invitó a inspeccionar la obra en 1753, y después a través de la publicación de su libro *La manière de rendre toutes sortes d'edifices incombustibles o Traité de la construction des voûtes faites avec de briques et du plastre, dites*

voûtes plates, et d'un toit de brique sans charpante, appelé comble briqueté.[30]

Un año después, la difusión de la bóveda a la «Rousillon» será cada vez más generalizada. La labor de otro entusiasta, Pierre Patte, arquitecto heterodoxo y grabador excelente, que llegará a escribir y publicar el 5º y 6º volúmenes del tratado de Jean Jacques Blondel, *Concurs d'Architecture*, incorporará las experiencias de d'Espie entre sus magníficos grabados, como ya se ha mencionado. La traducción inglesa, italiana, alemana, etc. de este libro, garantizaría la definitiva difusión del sistema de bóveda tabicada, si no se hubiera envuelto su desarrollo con otras consideraciones de formas de equilibrio más completas, como era la integración de los tirantes de hierro dentro de la propia obra y la competencia de otros sistemas de cubrición, como las bóvedas a base de tubos de cerámica.

Hay que hacer una consideración más general con el sistema constructivo de los países atlánticos y centroeuropeos, para entender este freno a la difusión de las bóvedas tabicadas. La existencia de bosques extensos ha facilitado en estos países la pervivencia de las construcciones a base de entramados y forjados de madera, si bien, a partir de los siglos XVI y XVII empiezan a sustituirse por construcciones pétreas y cerámicas, que implican no solamente un replanteo de las tipologías residenciales, sino también estructurales como el uso de las bóvedas, pero que nunca no acabarán de sustituir totalmente la mentalidad vernácula de la construcción atirantada de madera, hasta que con la introducción del hierro contemporáneo en la construcción restablecerán su continuidad.

En un sentido antropológico y también casi material, a la construcción pétrea, esto es, a la construcción de bóveda a base de la unión íntima que aseguraban entre sus componentes, los morteros de cal o de hormigón romano, la Europa comprendida al norte de los Alpes, nunca se la acabó de creer a pesar de su colonización romana y excepto durante los periodos románico y gótico. Y no se lo acabó de creer porque su ecosistema básico era la cultura del bosque y su construcción la de la madera.

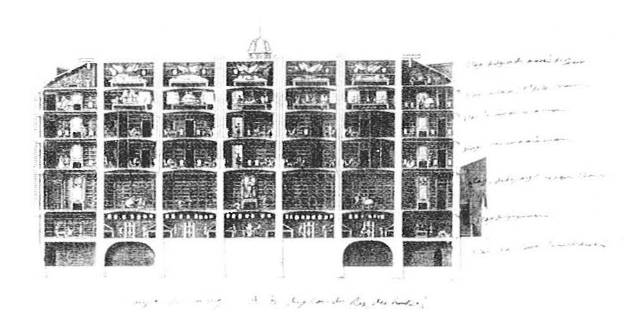


Figura 3
Sección del Ministerio de la Guerra, la Marina y Asuntos Exteriores, en Versalles obra de Jean B. Berthier que anticipa las soluciones de R. Guastavino en sus fábricas y edificios residenciales en altura con forjados a base de bóvedas tabicadas muy rebajadas

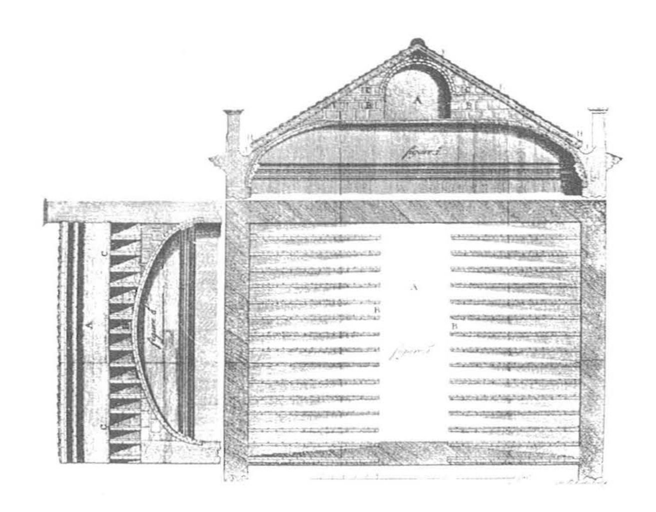


Figura 4
Solución de cubierta y desván a base de tabicados, realizada por el Conde Félix d'Espie, en su casa de Tolosa de Llenguadoc

En la península Ibérica esta división se distribuye entre la franja mediterránea y la cornisa cantábrica, estando la meseta en medio moviéndose entre las dos culturas y ecosistemas de la piedra y la madera, acorde con la evolución histórica.

A nivel peninsular, que es el que vitalmente tenemos más experimentado, creemos que es la misma constitución geológica del suelo la que da este sentido y que después se matiza históricamente. La naturaleza calcárea de una gran parte de las rocas mediterráneas de nuestro suelo, no solamente facilitan la cal para formar unos morteros magníficos y para blanquear las paredes y fachadas, sino también llega a garantizar la riqueza de nuestras propias tierras de riego, la composición de nuestras aguas, y hasta nuestra propia constitución metabólica.

Por el contrario, el substrato granítico y rocas metamórficas de Galicia y buena parte la cornisa cantábrica y de los Pirineos, aparte de imponer un uso más difícil de la piedra tallada, genera una acidez del suelo que no permite más que una horticultura raquítica en comparación con la mediterránea.[31]

Esta polaridad varía según los periodos históricos. Mientras la cultura musulmana, transmisora de la mesopotámica y egipcia, nos reforzaban las tendencias indígenas comunes de la construcción de barro, la cerámica, la cal y el yeso, principalmente, aunque no fueron de-

masiado transmisores de los sistemas abovedados que nos perdura por una tradición romana, románica y gótica, en cambio, la llegada del dominio de los Austrias con su cultura alemana y flamenca, sirvió para revalorizar las construcciones de madera, observable sobre todo en las cubiertas, campanarios y hasta en las técnicas pictóricas, etc.

Si bien Inglaterra y los Países Bajos utilizan el ladrillo en sus construcciones, cuando derriban sus casas, es fácil observar como los ladrillos se despegan con relativa facilidad, recuperándose geométricamente enteros y limpios. Tanto por su volumen, tendiendo a la forma cúbica, como por sus morteros más pobres cohesivamente hablando, los muros cerámicos confían más su estabilidad en su grosor y en la traba de las piezas, de aquí la riqueza de aparejos que utilizan, que en la capacidad de agarre de sus morteros de unión.

El período del prerrománico hasta el gótico, en Europa, significó una relativa unidad de cultura constructiva de unos siete siglos aproximadamente de duración, desde el siglo IX hasta al tardo gótico del XV–XVI. Sintéticamente se puede esquematizar diciendo que cada región a partir del siglo VI regresa al aislamiento y economía autárquica, recuperando unas formas de vida prerromanas según la importancia de las inmigraciones que hubieran sufrido. A partir de este retorno a los orígenes, se pudo producir una continuidad de desarrollo, una evolución sin grandes traumas como por pasar de las construcciones de madera en el área atlántica y centro europea, a la de piedra, sobre todo en los grandes edificios representativos, de la lineal y trabada de la primera a la continua de pared-tejado y comprimida de la segunda. Y esto, según todas las diversidades y ritmos locales precisos, como para acomodarse a un proceso de elaboración más profundo del que aún no conocemos todas las etapas, en particular de las primeras, que en gran parte aún están por analizar.

Las dos grandes áreas de madera y o etapas de evolución en su utilización, variará de la del «stavs» o grandes troncos, que dará lugar, por ejemplo, a la arquitectura de las dachas rusas o escandinavas, etc. y a la de las tablas, reservándose las primeras para la estructura y las segundas para recubrimientos y divisiones internas. Desde esta perspectiva, se podría considerar el gótico como la síntesis entre la construcción lígnea y la de piedra expresándose esto claramente en las catedrales.

La construcción de madera tiene la servidumbre de su combustibilidad que genera como un pánico atávico en las ciudades construidas con este material y cuyos incendios constituyen una tradición propia, cuya memoria se mantuvo muy viva hasta tiempos recientes: el de Roma de Nerón, el Gran Incendio de Londres de 1666, el del puente de París, el de la ciudad de Chicago de 1871, etc. Por eso, la presentación de la construcción de las bóvedas a la catalana como un sistema incombustible, como el que se formula en Francia en el siglo XVIII o en los Estados Unidos por parte de Guastavino, es un planteamiento destinado a tener una gran aceptación siempre que sea verificable. El problema de resolver el tema de los empujes de la bóveda de la que existe una gran tradición de estructuras atirantadas de hierro, como la de la cantería armada francesa de los XVII y XVIII o de los forjados de las casas de vecinos parisinos, es la que complicó la implantación de las bóvedas tabicadas en los países europeos, dado que no se integraba dentro de un sistema coherente de concepción estructural y que no se resolverá hasta la llegada del cemento Portland con su alto poder cohesivo. Ésta será fundamentalmente la aportación y contribución fundamental de Guastavino que con su amplia obra resolvió definitivamente el problema con el uso de estructuras mixtas de ladrillo e hierro.

Cataluña

A partir del siglo XVII y XVIII la aplicación de las bóvedas tabicadas se extiende cada vez más por la arquitectura catalana. Un ejemplo de esta progresiva generalización lo constituye la arquitectura militar del XVIII.

Como hombres renacentistas, los ingenieros militares perseguían el ideal de encarnar la unión de ciencia y arte, al sintetizar, por formación científica y práctica profesional, la diversidad de disciplinas del espacio como la geometría, la cartografía, la topografía, la geografía, el urbanismo, la construcción, la arquitectura, las ingeniería de caminos, industrial y, obviamente, la militar. Y, todo esto, dentro de un cuerpo de ejército de élite que les permitía disponer de unos recursos, disciplina y continuidad como para propiciar un crecimiento técnico y cultural, sostenido, como atestiguan las inteligencias que se reunieron a lo largo de tres siglos como los Antonelli, Rojas, Verboom, Cermeño, Martín, Arévalo, etc.

La importancia de las obras construidas o rehechas por los ingenieros militares, como representantes de una administración borbónica durante todo el siglo XVIII, fue decisiva. A parte de contar en Cataluña con el mayor número de ingenieros militares de toda España,[32] el número de obras controladas por estos técnicos representaba el 66% del total de obras de Cataluña durante todo el siglo.[33] Si pudiéramos saber el volumen económico que esto representaba, seguro que las cifras aún serían mayores.

A partir de 1790, cuando se crea la Academia de Bellas Artes de San Fernando de Madrid, el protagonismo de los ingenieros militares en cuanto a obras cae en picado, dado que solamente se les autorizaba a trabajar en obras estrictamente militares.

El papel que jugarán las bóvedas de rosca y tabicadas dentro del volumen de construcciones militares y civiles

controladas por los ingenieros militares es importante, dado las excelentes propiedades de economía, sencillez, incombustibilidad y versatilidad de las segundas. Se aplicarán tanto a la construcción de hospitales, residencias, iglesias, como en los edificios estrictamente militares construidos en todas las plazas fuertes de Cataluña.

Como testimonios significativos de este patrimonio de bóvedas tabicadas de origen militar tenemos las salas de la Academia de Matemáticas en el antiguo Convent de San Agustí de Barcelona, con bóvedas vaídas muy expresivas atendiendo a su pronunciada curvatura y su decoración floral que con su carácter lineal aún acentúan más su conformación.

La nueva iglesia de San Agustí de Barcelona, en sustitución de la antigua debido al derribo del barrio de la Ribera, la iglesia de la Ciutadella, el Palau del Gobernador (actualmente Institut Verdaguer) y el Arsenal (actual Parlament Català), fueron cubiertos a base de bóvedas a la catalana. La primera, construida en 1728, a base de cuatro hojas de ladrillo a causa de sus 15 m de luz. La iglesia de San Miquel del Port de la Barceloneta, proyecto de Pedro Martín Cermeño, también fue hecha con el mismo sistema, hacia el 1750.

En dos obras monumentales de la ingeniería militar catalana, como son la Universitat de Cervera (1717–1804) (Fig. 5) y el Castell de San Ferran de Figueras, las bóvedas a la catalana juegan un papel destacado. En la primera, prácticamente todas las bóvedas de la planta baja que comprende toda su superficie, así como las de la biblioteca y capilla de la primera planta.

En el Castell de San Ferran, el difundido uso de las bóvedas cerámicas en todas sus variedades de grosor y resistencia tanto a la gravedad, al sismo, como a los impactos de cañón. Encontramos su aplicación en todo un amplio registro de modalidades bien sea en forma tabicada, de rosca, reforzadas, sobrepuestas, etc. Por la extensión, la variedad de tipologías de edificios y construcciones militares, sumado a la versatilidad formal de adaptación de las bóvedas a la catalana, encontramos su aplicación en el cubrimiento de la mayoría de los espacios habitables y en los interiores de las residencias de oficiales de tropa, caballerías, polvorines, cubiertas, que gracias a los grosores de mortero de cal de las hiladas sucesivas, aseguraron una construcción monolítica perfecta.

La Catedral Nova de Lleida de Pedro Martín Cermeño, hecha por los ingenieros militares en compensación de la ocupación de la Seo Vella convertida en cuartel, fue cubierta con bóvedas tabicadas.

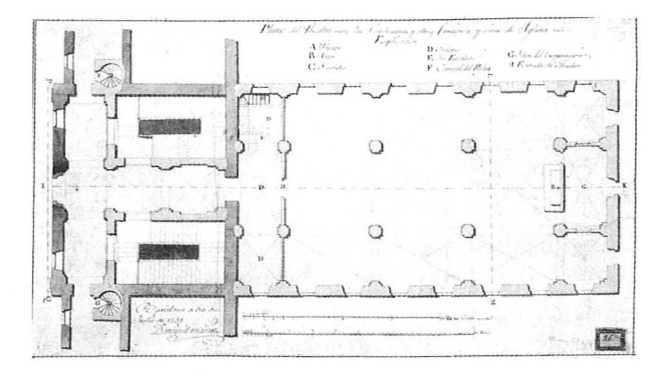
Paralelamente a este despliegue de arquitectura de bóvedas a la catalana controlada por los militares, existen toda una expansión igual de importante o mayor de arquitectura religiosa y civil, de las que únicamente nos referiremos la primera.

Están, en primer lugar, como continuación de los siglos anteriores ya mencionadas, las iglesias góticas reformadas con bóvedas tabicadas empotradas en los arcos diafragma y sus techos de madera que quedaron escondidos y que podían ir con o sin lunetos. La mayor parte de los siglos XVII y XVIII. Como ejemplo valga el caso de Montblanc, donde se reformaron la iglesia parroquial de San Miquel del siglo XII, y las iglesias de los conventos de San Francesc, de la Mercè, de les Clarises y la iglesia del Hospital.[34]

La modalidad más utilizada para las iglesias de nueva construcción, fue la del tipo de iglesia gótica catalana de nave única y capillas entre contrafuertes, llamada jesuítica por la adopción generalizada de este tipo adoptada en la iglesia del Gesú de Roma, cubierta con bóveda tabicada de cañón o vaída, a base de arcos torales de rosca y lunetos.

En Tortosa, lo eran las nuevas iglesias barrocas de San Antoni, la dels Dolors, la del Seminari y la del Roser antigua del margen izquierdo.

Lo mismo debió ocurrir en toda Cataluña, destacando el caso de la Catedral Nova de Vic, proyectada en 1781, por Josep Morató, el último de una extensa familia de arquitectos y artistas y resuelta también con la solución clásica de arcos torales de rosca y bóvedas de cañón tabicadas.



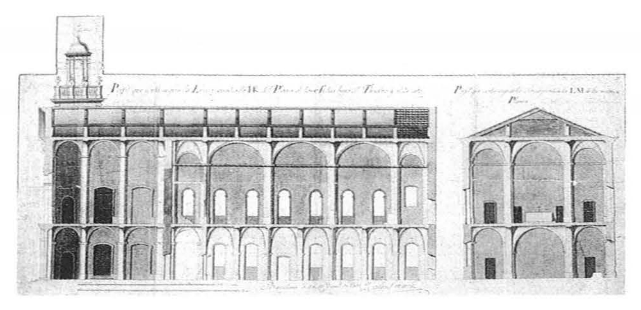


Figura 5
Planta y secciones de la Iglesia de la Universitat de Cervera en la planta primera. Todas las plantas están cubiertas con bóvedas tabicadas

Los maestros de obra

Si ya los ingenieros militares como resultado de su práctica racionalizadora, normativa y extensiva, acabaron elaborando o utilizando unas tipologías arquitectónicas, estructurales y constructivas específicas, la práctica de los maestros de obra que se extiende en Cataluña desde finales del siglo XVIII hasta el 1940, un siglo y medio, con un período de institucionalización y predominio absoluto durante el siglo XIX, permitió llegar a poner a punto todo un sistema constructivo completo, basado en el uso de la tierra cocida. Desde los cimientos, los muros de carga, los tabiques, las cajas de escalera, los forjados a base de bovedillas, los cielos rasos en ocasiones a base de bóvedas tabicadas de una hoja, los pavimentos, las azoteas, es decir, la casa entera se resuelve con ladrillos, rasillas y baldosas exclusivamente. Un material que se encuentra en el propio subsuelo de todas las extensas terrazas cuaternarias litorales y prelitorales catalanas, donde se asientan las ciudades y núcleos de población más dinámicos.

Ligado al ejercicio de una práctica profesional con una consciencia de autoexigencia muy alta y con unos estudios de composición arquitectónica claros y sencillos, con la ventaja añadida de no estar afectados por el «virus de la artisticidad» de los arquitectos posteriores, el citado sistema constructivo de los maestros de obra estaba guiado por una disciplina de proyecto, unas tipologías residenciales y edificatorias propias y una racionalidad compositiva y constructiva muy estrictas, todo lo cual garantizaba como resultado una arquitectura urbana altamente ordenada y homogénea. La arquitectura de los maestros de obra es el telón de fondo de todo el crecimiento y transformación de nuestras ciudades industriales, empezando por el centro histórico de Barcelona, que identificaron Cataluña con un paisaje urbano típico del siglo XIX, el primer tercio del XX y que aún podemos encontrar abundantemente según los lugares.

Sobre la cualidad de su oficio ligado a la técnica del uso del ladrillo, solamente repetiremos que se movían por la autoexigencia del trabajo bien hecho al máximo,[35] al contrario de la situación actual, en la que de lo que se trata es de regular los mínimos de la ejecución material de las obras mediante normas tecnológicas.

La habilidad y la astucia de los albañiles catalanes que accionaban la paleta como si de una espada precisa y exacta se tratara, para untar dos lados esquineros de unas piezas cerámicas, casi inmateriales por su delgadez, que eran las rasillas, y que acto seguido, con un movimiento igual de calculado, unían y pegaban, con unos toques precisos y gracias a un material de fraguado rápido, como el yeso, realizando el prodigio de conformar como unos cascarones de huevo suspendidas en el aire, encofrado perdido de los doblados o triplicados posteriores más cohesivos y fuertes.

El reto de máxima competencia profesional que había que superar todo maestro de obra, era la construcción de la caja de escalera a base de bóvedas a la catalana para sus tramos, y ya en el siglo XX, la construcción de una azotea a la catalana.

En efecto, las bóvedas de los tramos de escalera eran la parte del edificio donde se concentraba la mayor dificultad, a la par que el prodigio de la técnica de la construcción cerámica (Fig. 6). Existen dos modalidades básicas de construcción de bóvedas tabicadas para escalera: la primera se forma a base de tramos independientes de bóvedas rampantes de directriz parabólica o catenárica y generatriz cilíndrica, dispuestos a montacaballo y la segunda, se resuelve dando continuidad a los tramos, básicamente iguales estos de forma parabólicos-cilíndricos comunmente, pero vaídas en los mejores casos, y con las esquinas-rellanos apechinadas mediante la unión de las dos líneas de empotramiento de los tramos. Después, existen las formas mixtas de ambas modalidades.

La mayor pericia y la mayor altura entre las plantas exigidas por las escaleras de pechina, reducen su aplicación en gran medida, pero cuando se encuentra una, la emoción que produce esta superficie desarrollándose como una cinta que se enrosca de forma continua en el espacio, no deja de provocar la seducción de un hecho mágico.

En Barcelona existen dos bóvedas de escalera tabicada apechinadas a las que daríamos la máxima cualificación constructiva-arquitectónica: la primera serían las de las torres de la fachada principal del edificio del Reloj de la antigua fábrica Batlló, después Escola de Enyingers Industrials y actualmente oficinas de la Diputació de Barcelona. La segunda se encuentra en un restaurante de la calle de Banys Nous, en el centro histórico de Barcelona. Las citadas en primer lugar, obra de Rafael Guastavino, por la generosidad de anchura y altura alcanzan una perfección de medidas y proporciones que son dos verdaderos monumentos. Desgraciadamente el ojo de la escalera en una ha sido tapada por la caja del ascensor y la otra semiobturada por el ascensor. La del restaurante, por el contrario, es una pequeña poesía, estrecha y de una sola planta de altura, pero con su elegancia y finura de giro contiene toda la maestría y encanto de las obras que son capaces de convertirse en referencias básicas, máximo atributo que les otorgaba Gaudí a las obras de arte.

La construcción de la azotea a la catalana, es decir la cubierta plana transitable sobre tabiques conejeros y solera de ladrillo no empotrada lateralmente, lo que permite ventilar directamente a través de un mimbel específico, y con solado de baldosín prensado e impermeable, es el otro producto de excelencia de nuestra construcción

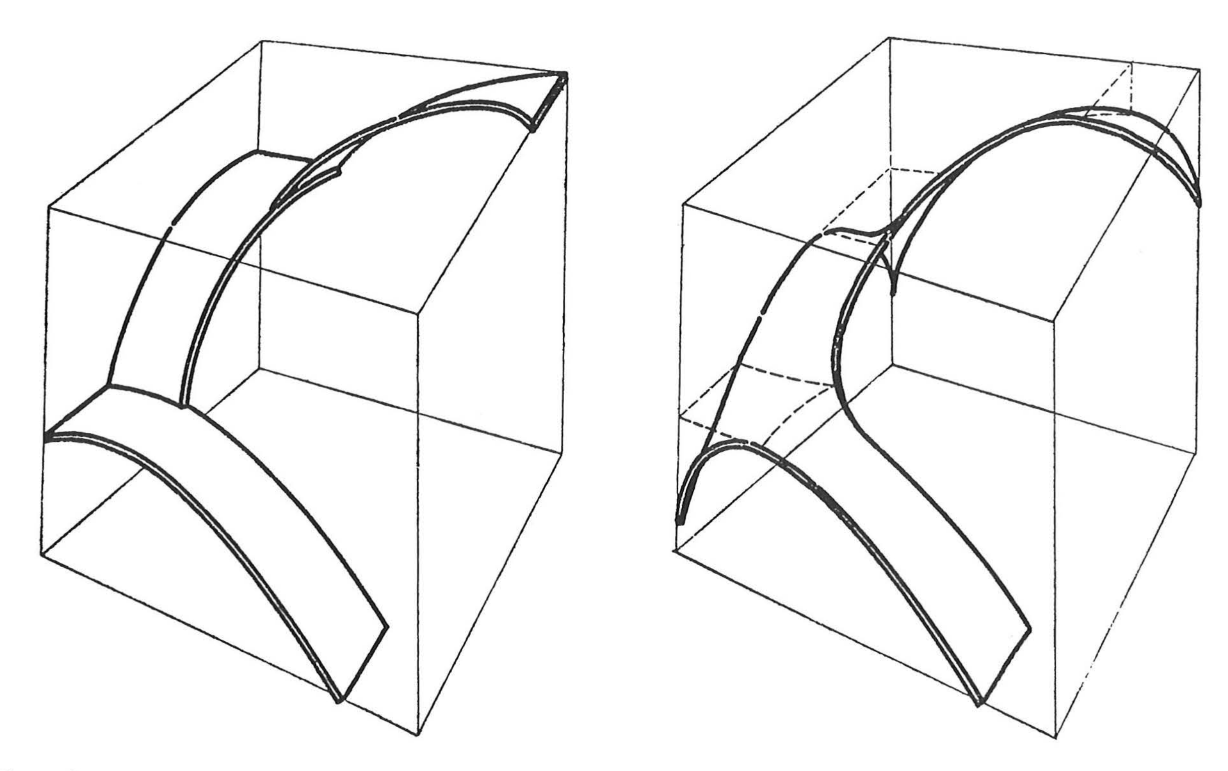


Figura 6
Diagrama de escaleras a base de bóvedas tabicadas a montacaballo y en solución de pechinas en las esquinas, que los maestros de obras catalanes prodigarán hasta el infinito, como la mejor prueba de su oficio. Dibujos de Casinello

cerámica. Es el resultado de un largo proceso de evolución, de paternidad desconocida, que no llega a resolverse en la forma definitiva hasta los años 1920–1930.[36]

La revolución de Guastavino

De aquel ambiente social y técnico de los maestros de obra catalanes surgió Rafael Guastavino, como una de las expresiones más altas que estos técnicos alcanzaron.

Su principal contribución consistió en aunar la depuración de la técnica constructiva de la bóveda catalana con la introducción del cemento Portland en el doblado o triplicado de los gruesos de ladrillo en sustitución de la cal o yeso tradicionales, lo que le permitió un aligeramiento y un incremento espectacular de las luces de las bovedillas y bóvedas, todo lo cual, junto a un instinto estructural y constructivo extraordinarios, le facilitó sintetizar, siempre a base de construcción cerámica, las soluciones más estables y simples por complejo que fuera el problema planteado (Fig. 7).

Sólo falta resaltar su gran sentido comercial en el buen sentido de comunicador, propagador y vendedor, para comprender el éxito de sus empresas. No le faltó el olfato y la valentía de marcharse a Nueva York, el mercado óptimo para la aplicación de sus conocimientos, y conquistar toda la costa Este de Estados Unidos, con los más de 1000 edificios representativos desde iglesias, bancos, escuelas, universidades, piscinas, monumentos, etc. (Figs. 8 y 9)

El análisis y valoración de la obra de Rafael Guastavino, padre e hijo, en la historia de la arquitectura y de la construcción, se desarrolla ampliamente en este propio catálogo y la exposición.

La explosión modernista

En Cataluña, la creación de la Escuela de Arquitectura a partir de 1870, juntamente con la delimitación de competencias exclusivas para poder construir edificios públicos y representativos por parte de los arquitectos, les comportó una diferencia de estatus no solamente profesional, sino también social, respecto a los maestros de obra. La mayor formación científica, los nuevos sistemas de cálculo gráfico de estructuras, el dominio de la geometría descriptiva para facilitar el corte de la piedra, una teoría de la arquitectura más elaborada, fueron los argumentos para justificar una mayor división social del trabajo a favor de los arquitectos, proceso que había empezado con la lucha por el reconocimiento del profesional liberal renacentista.

Ante la uniformidad y planitud de las fachadas de los maestros de obra que habían creado unas calles muy ordenadas rectas y urbanas, como tantos otros ejemplos ingleses o franceses, los arquitectos salidos de la Escuela de Barcelona, empiezan no respetando aquellas fachadas planas y construyen tribunas, miradores, galerías que rompen cada vez más de forma atrevida el plano de fachada, así como la emergencia de pináculos, templetes y torres, sobrepasan la horizontalidad dominante de las azoteas precedentes.

Es la voluntad de individualización coincidente de unos nuevos propietarios y unos arquitectos que necesitan el reclamo de afirmación personal para satisfacer su necesidad de presencia pública.

A partir de este enunciado general caben todas las manifestaciones posibles, pero no hay duda que ha sido dentro del período modernista, cuando más variedad y riqueza de ejemplos se produjeron, resumiéndose en la obra de Gaudí, Domènech i Montaner y Puig i Cadafach, la expresión más alta de esta individualización. La vecindad de estos tres arquitectos en la manzana del Passeig de Gràcia, entre Consell de Cent y Aragó, creando una disonancia y un diálogo entre sus respectivos edificios, fue rápidamente comprendida por sus contemporáneos, que la designaron como «Mançana de la Discórdia», dado el contraste de la misma como el telón de fondo del paisaje urbano normal de Barcelona, tanto en el Eixample como el de la Ciutat Vella, que era la arquitectura homogénea de los maestros de obra.

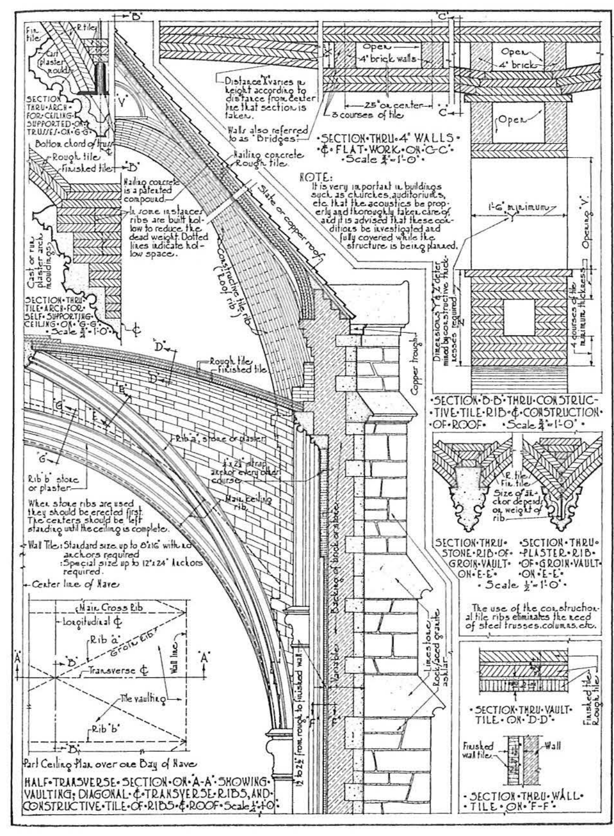
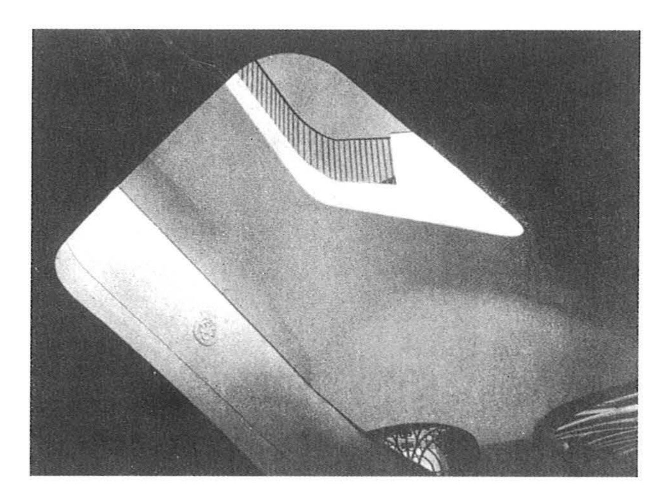


Figura 8
Detalle constructivo para una solución de templo gótico elaborado por la empresa de Guastavino, donde se aprecia la maestría en el dominio técnico en el uso de la construcción cerámica

La explosión de la arquitectura modernista, ha de entenderse más que como la expresión de un estilo artístico característico, como la denominación de un período histórico (1890–1910, principalmente), en la que convive una diversidad de corrientes formales. Estilísticamente, el modernismo, es un cajón de sastre en el que se encuentran el neogótico, el neomudéjar y otros «neos» menores, junto al floralismo del Art Nouveau, la Secession vienesa y todo, sobre una pervivencia de los órdenes clásicos de fondo, más o menos diluida. Entre medio de todo esto, atravesándolo y situándose a la vez fuera, se encuentra el posicionamiento propio de Gaudí, junto a una cierta escuela de discípulos muy importantes.

Las bóvedas a la catalana, como técnica propia de cubrir el espacio, tienen unas posibilidades de manejabilidad suficientes como para poderse adaptar a las más



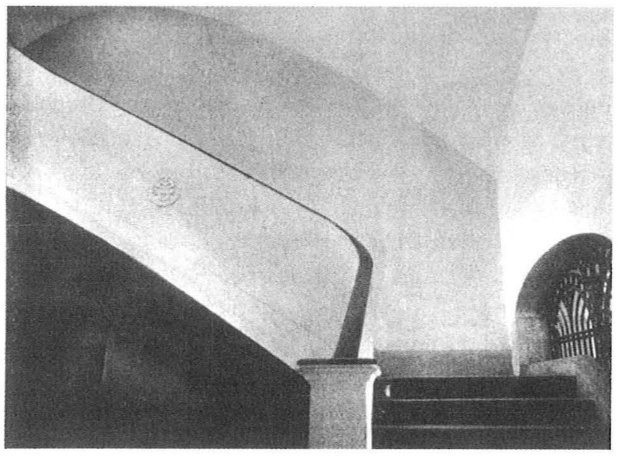


Figura 7
Escalera en solución apechinada, obra de Guastavino, en el edificio del Reloj de la Fábrica Batlló de Barcelona

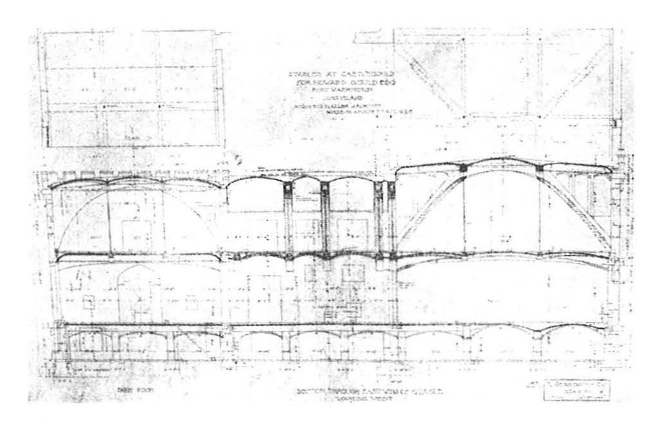


Figura 9
Sección de las cuadras de Castlegould, Port Washington, Long Island, N.Y., donde se observan las rebajadísimas bóvedas vaídas y arcos, formando parte de una compleja estructura en parte atirantada, toda ella obra de Guastavino

diversas caracterizaciones formales, dependiendo de las capacidades creativas, tanto estructurales como constructivas, de cada autor. A pesar de ello, la mayoría de los ejemplos de arquitecturas abovedadas modernistas, se reducen a unas formas básicas muy limitadas, excepto en algunos ejemplos de Domènech i Montaner y en la mayor parte de los de Gaudí y su escuela, que originan géneros estructurales nuevos.

De la extensísima producción de las diversas promociones de arquitectos catalanes, señalamos la que a nuestro criterio consideramos más significativa. Los datos que siguen al nombre del arquitecto son las fechas de nacimiento, titulación y defunción de los mismos.

ELIES ROGENT I AMAT (1821, *1849*, 1897)
- Presó de Mataró (1856–1864)
- Universitat Literaria de Barcelona (1862–1863)
- Seminario Conciliar (iglesia y claustro) (1879)

DANIEL MOLINA (–, *1848*, 1859)
- Plaza Real (1867)

JOAN TORRAS I GUARDIOLA (1828, *1854*, 1910)
- Cubiertas, talleres de caldería y de remacheo, Herrería Torras,
- Poble Nou, Barcelona.
- Cerchas de diseño propio muy variadas e importantes para el soporte de bovedillas y bóvedas en gran cantidad de edificios representativos.

FRANCESC DE P. VILLAR CARMONA (1860, –, 1927)
- Fábrica Chamón y Triana en Barcelona, al lado del campo de fútbol del Español.

LLUÍS DOMÈNECH I MONTANER (1850, *1873*, 1923)
- Hotel Internacional (1888)
- Hospital de S. Pau (edificio de la administración y pabellón de enfermería (1902–1910)
- Palau de la Música Catalana (1905, –, 1908)

ANTONI GAUDÍ I CORNET (1852, *1875*, 1925)
- Pabellón de entrada, y caballerías finca Güell (1887)
- Palau Güell (1885–1889)
- Casa Bellesguard (1900–1902)
- Parque Güell (1900–1914)
- Casa Batlló (1903–1905)
- Escoles de la Sagrada Familia (1909)
- Casa Milá (1909)
- Cripta de la Iglesia de la Colonia Güell (1900–1914).

JOAN RUBIÓ I BELLVER (1871, *1893*, 1952)
- Sanatorio Tibidabo (1903)
- Depósito de agua de la Colonia Canals (1906–1907)

JOSEP PUIG I CADAFALCH (1867, *1891*, 1956)
- Bóveda de escalera principal de Casa Macaya (1901)
- Fábrica Casarramona (1909–1911)
- Fábrica Celler Codorniu (1901–1904)

JOSEP Mª JUJOL (1879, *1906*, 1949)
- Torre de la Creu, St. Joan Despí (1898–1900)
- Talleres Mañac, Barcelona (1916)
- Casa Bofarull,
- Els Pallaresos (1914),
- Iglesia Vistabella (1918–1923)

LLUÍS MONTCUNILL I PARELLADA (1868, *1892*, 1931)
- Fábrica Aymerich, Amat i Jover (1909)
- Vapor Amat
- Masía Freixa (1907)
- Fábricas de la Sociedad General de Electricidad (1908)
- Fábrica Josep Sala, todo en Terrassa.

CÉSAR MARTINELL I BRUNET (1888, *1916*, 1973)
- Cellers de Pinell de Brai (1910–1922)
- Gandesa (1919–1920)
- Almacén de S. Guim (Lleida) (1922)

JERONI MARTORELL I TERRATS (1877, *1903*, 1951)
- Azotea y cubierta en Sabadell
- Caixa d'Estalvis de Sabadell.

BERNARDÍ MARTORELL I PUIG (1870, *1902*, 1937)
- Convento de Valldoncella (1910), en la calle del Císter 41, Barcelona.

Hemos seleccionado de la producción de bóvedas ligeras de calidad de la arquitectura catalana del periodo modernista, aquellas que se han considerado más significativo por una o otra razón, en el bien entendido que hemos elegido a partir de unos mínimos, ya sea por extensión o importancia, atendiendo que bóvedas tabicadas, ni que fueran en las cajas de escaleras se encuentran en todas las obras. Así, hemos seleccionado la Casa Macaya de J. Puig i Cadafalch por los tres tramos de bóveda que cubre la escalera principal a pesar de su escasa extensión, pero significativa como testimonio de su tratamiento decorativo. Si nos hemos olvidado de alguna referencia importante, agradeceremos que se nos señale para corregirla.

Las bóvedas, por importantes que sean, son únicamente una parte, bien que decisiva, en la conformación del espacio, por esto no las hemos elegido considerándolas aisladamente, sino que su cualificación y valoración definitiva depende del conjunto al que contribuyen a definir y del que dependen a la vez. Por esto, hemos intentado superar toda «boveditis», mediante el análisis del conjunto del que forman parte y como forma de apreciar la riqueza de adaptaciones históricas de esta técnica constructiva, así como las peculiaridades propias de cada una de ellas.

También queremos repetir el que otras veces ya hemos citado, que la diferenciación entre bóvedas de rosca y tabicadas en una obra, es solamente cuestión de luces, de cargas o de presupuesto y que a veces es difícil poder distinguirlas, sobre todo, cuando están revestidas. Por este motivo, es posible cometer errores, que no cuestionan el sentido general del discurso formulado que es el que siempre tratamos de justificar apoyándonos en el máximo número de aspectos que entran en la conformación de un problema. Este método de basarse en la visión de conjunto de un hecho, para tener la mayor información posible de su coherencia interna y no dejar las partes desconectadas entre sí, es el que intentamos aplicar siempre.

De la consideración global de la variedad tan amplia de ejemplos de bóvedas a la catalana reunida en la relación precedente, surgen las siguientes reflexiones.

Formas de bóvedas

Aunque hay muchas formas de bóvedas tabicadas, el repertorio básico modernista es bastante restringido: cilíndricas con generatrices diversas, como de medio punto, rebajadas, elípticas o parabólicas; vaídas (esféricas, torales, etc.); de crucería; cúpulas semiesféricas, parabólicas, etc. El recurso común utilizado es la decoración superficial de estas bóvedas que con la potencia de expresión del modernismo, permite caracterizaciones muy variadas y ricas. Según el ámbito en donde se sitúan, son dejadas vistas sin revestir, como las de las bodegas y las fábricas textiles o simplemente enfoscadas como los ejemplos de la mayoría de las fábricas textiles. Pero conforme los recursos económicos aumentan, se revisten para darles más dignidad y vida, bien esgrafiándolas o con cerámica vidriada.

Puig i Cadafalch y Domènech i Montaner

Los extremos de esta posición decorativa de las bóvedas a la catalana lo representan Josep Puig i Cadafalch y Lluís Domènech i Montaner. El primero con un dominio de los repertorios estilísticos extraordinariamente desarrollado dado su vertiente de historiador de la arquitectura, lo que juntamente con una gran facilidad por el grafismo, igual que tendrá Domènech, le permitirá montar unos escenarios de una gran densidad plástica que forman como un collage espacial de citas de muy diversas procedencias, pero que no llegan a sintetizarse en una definición suficiente unitaria y personal como para poder integrar toda con esa riqueza decorativa deslumbrante. Nuestra opinión personal es que esta limitación ecléctica que se conjuga con un gran conocimiento de la historia de la arquitectura la encontramos en diversos historiadores de la arquitectura a la par que arquitectos de otras épocas.

Cuando se visita el piso principal de la Casa Atmetller en el Paseo de Gracia, hoy sede de la fundación del mismo nombre y milagrosamente conservada, este efecto de deslumbramiento y de escenario de referencias estilísticas como citas pegadas unas con otras y sin integración espacial, se hace muy patente.

En cambio, Domènech i Montaner, que había iniciado este camino antes que Puig por ser mayor en edad, está dotado de una capacidad creativa espacial y estructural mucho más fuerte, como para permitirle elaborar soluciones estructurales propias sobre las cuales colgar una decoración también exacerbada, pero perfectamente integrado a la estructura y a la forma.

El Palau de la Música o el Hospital de S. Pau, en particular el Pavelló de l'Administració (Fig. 10), son un claro testimonio de lo que decimos. A pesar de que los respectivos tipos arquitectónicos de los dos complejos era ya obsoleto cuando se proyectaron, su capacidad creativa fue capaz de superar estas limitaciones y dar origen a unas grandes obras de arquitectura. Los esquemas organizativos de la planta y de la estructura, si pensamos en las soluciones de las salas de la biblioteca o de la sala de juntas del citado edificio de administración, pero lo mismo podemos decir del Palau de la Música Catalana (Fig.11), son tan sabios que por encima de la valentía de la concepción del edificio y de su estructura, se afirma, por más aparente, todo el deslumbramiento de los acabados ornamentales resueltos además con una perfección artesanal indiscutible.

Y, si a veces existen soluciones demasiado rezagadas estructuralmente, como por ejemplo, los forjados de viguetas del techo de la gran sala del Palau de la Música, la fuerza decorativa de la magnífica vidriera central y la riqueza plástica esplendente de los vidriados,[37] integra perfectamente los citados forjados, a pesar de que no se les haya podido sacar partido con una solución más evolucionada.

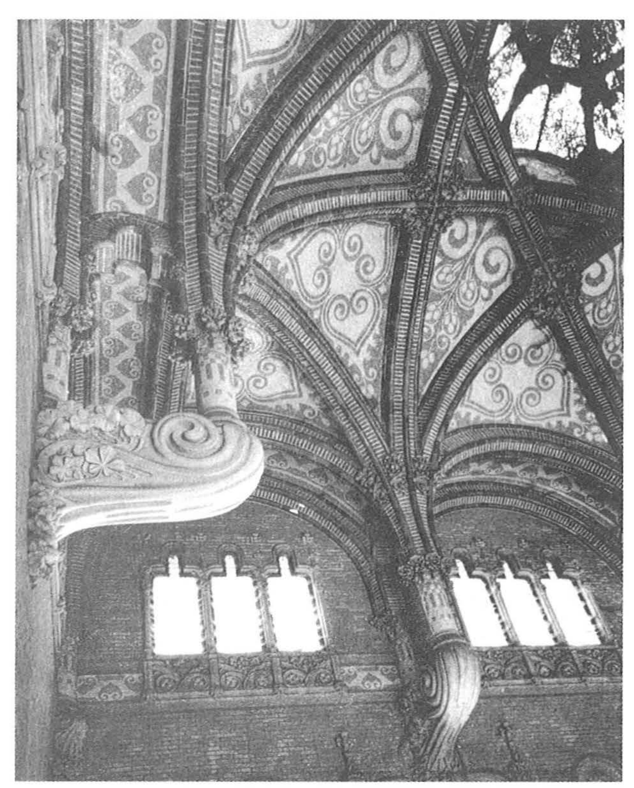


Figura 10
Fragmento de la bóveda del Pavelló de l'Administració de l'Hospital de S. Pau de Barcelona, obra de Ll. Domènech i Montaner

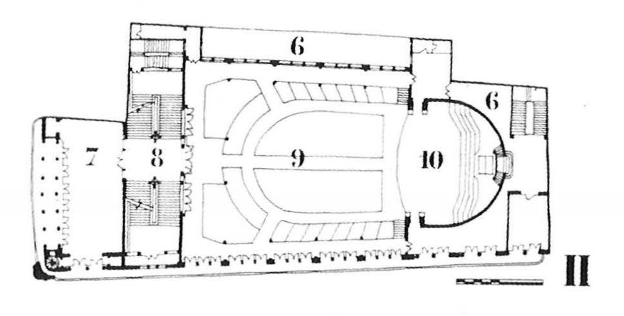
Gaudí

La búsqueda de Gaudí se inicia en una experimentación incesante para conseguir una nueva síntesis de estructura y forma que desde el gótico se había perdido. Anticlásico como la mayoría de los arquitectos modernistas, pero a diferencia de la mayoría de ellos, convencido de raíz y obseso con una inteligencia y potencia creativa superior, su recorrido a través de los estilos arquitectónicos con el fin de verificar el grado de coherencia interna que existía entre la estructura y la vestimenta de cada uno, gracias a su dominio prodigioso de las técnicas constructivas, pudo llegar a formular soluciones que aún hoy en día nos dejan sorprendidos. La perfección de la sala de las caballerías de los pabellones de entrada a la Finca Güell, verdadera nave basilical en pequeño, inspiran tanto equilibrio físico y psíquico a través de los arcos parabólicos y las bóvedas de lunetos que se intersecan con su aportación de luz homogénea, constituyendo dentro de su juventud un testimonio del dominio espacial radical. Por no hablar de las otras caballerías del subterráneo del Palacio Güell donde los robustos pilares fungiformes estratificados donde apoyan los arcos tabicados y plementerías de rasilla tan perfectamente geométricas que parecen dibujados o del complejo y extraordinario organismo estructural plástico de las cúpulas centrales sobrepuestas del mismo palacio (Fig. 12), uno de los prodigios de la historia de la arquitectura, equiparable por densidad arquitectónica y por perfección de ejecución material a las bóvedas centrales de Borromini o Guarini.

Pero será básicamente en el Parc Güell donde el genio de Gaudí despliega, en el aspecto que estamos hablando de una arquitectura de bóvedas tabicadas, su máxima formulación. En los mismos años que Eusebi Güell encargó a Gaudí el diseño del parque, el conde está creando la Fábrica de Cementos y Asfaltos Asland en el Clot del Moro,[38] pidiéndole al arquitecto, que buscase formas de aplicación del nuevo material.

Gaudí utilizará el cemento rápido, como aglutinante principal para hacer el parque, del cual las bóvedas a la catalana son el elemento estructural básico. A parte de la creatividad de la propuesta organizativa general, de la modernidad de los trazados viarios en la independencia y superposición de la carretera para los vehículos rodados y el camino de peatones, de las soluciones estructurales originales en la sala hipóstila, los viaductos, los pabellones de entrada, etc., uno de los aspectos más importantes de la arquitectura del parque desde el punto de vista de las bóvedas tabicadas, es la prefabricación de una gran parte de sus elementos constructivos, tomando precisamente las bóvedas a la catalana como base.

Toda la parte delantera del sinuoso banco de la gran plaza, la baranda y los almohadillados de los muros de la



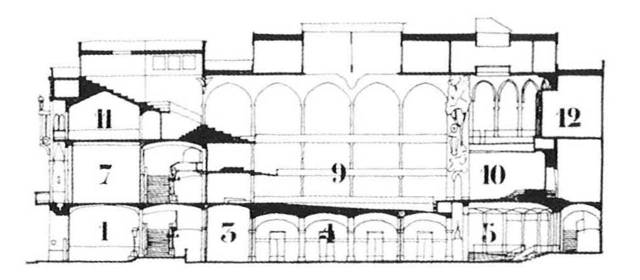


Figura 11
Planta primera y sección longitudinal del Palau de la Música de Lluis Domènech i Montaner

escalera principal de acceso, las cúpulas rebajadas y jácenas cerámicas armadas debajo de la plaza (fig.13 y 14), una gran parte de los alféizares de las ventanas, pétalos florales y aletas cartilaginosas de los perfiles de las cubiertas y cascos terminales de los dos pabellones de entrada, todos son hechos a base de módulos prefabricados de bóvedas a la catalana, revestidos de «trencadís» o cerámica vidriada troceada, antes de poner a la obra. Pero, son también prefabricadas las piezas de revestimiento de las columnas y capiteles de la sala hipóstila, los capiteles helicoidales y las columnas enroscadas de la infraestructura del giro del camino situado detrás de la actual escuela. Lo que no se entiende es cómo han sido construidos los recubrimientos de piedra, por su posición cara abajo, que adornan el citado capitel de diseño helicoidal, resulta fácilmente entendedor cuando se sabe que han sido construidos en taller, boca arriba, cómoda y con toda la seguridad física por parte del trabajador.

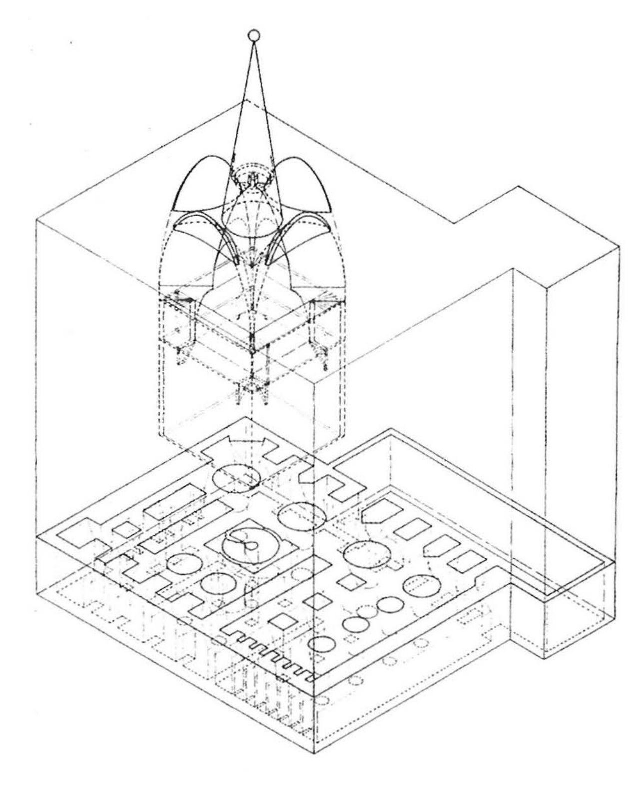


Figura 12
Esquema isométrico del organismo estructural del patio cubierto del Palacio Güell de Antonio Gaudí, centrado con la sala hipóstila subterránea cubierta toda ella con bóvedas a la catalana, igual que las bóvedas del paraboloide de revolución y el cono superpuesto

Este carácter de valoración de los medios de ejecución, como parte fundamental del proceso de diseño y de construcción, puesto tan en evidencia con el ejemplo de las bóvedas autoportantes a lo largo de la historia de la arquitectura, son también propios de los más grandes constructores como Brunelleschi, Freyssinet o Gaudí.

Gaudí, que valoraba tan positivamente la dimensión estructural de la obra, no por eso olvidaba la necesidad de su sujeción e integración con otras variables arquitectónicas, para la consecución de la síntesis arquitectónica. Mientras en una mano controlaba a los «funicularistas» de su entorno, partidarios de un predominio de la estructura a través del abuso de los arcos funiculares, con la otra mano gobernaba a los «plasticistas» que podían desbocarse en su euforia creativa, intentando en todo momento equilibrar los componentes arquitectónicos, según una ordenación propia con capacidad de respuesta para los arquitecturas más complejas y ricas y suficientemente universal, a la vez, si no se reduce a simple formalismo.

Para Gaudí primero era la situación; en segundo lugar, la medida; en tercero, la materia (el color); en cuarto, la forma. «El sentido del tacto da la forma, pero no sitúa; el de la vista sitúa la forma y nos da su color y su medida. Después de estos cuatro viene la estabilidad y siguen las otras».[39]

La expresión más alta en el uso creativo de las bóvedas tabicadas alcanzada por Gaudí, la constituye las del pórtico de la Cripta de la Colonia Güell (Fig. 15), en forma de paraboloides hiperbólicos, las primeras que se construyen como tales en la historia de la arquitectura.[40] Gaudí llega a dignificar este material de la tierra cocida de las rasillas, con la más alta cualificación, como si de un material noble se tratara, ya fuera el mármol pentélico ateniense o el vidrio de Murano.

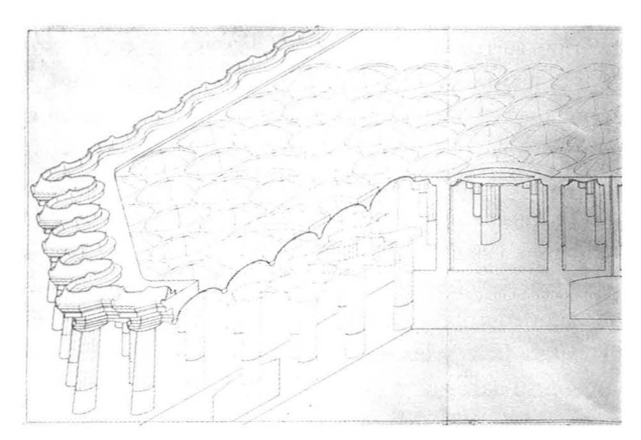


Figura 13
Axonometría de la plaza sin tierra y la sala hipóstila del Parc Güell de A. Gaudí seccionada por los casquetes esféricos, bancos y columnas agujereadas que alimentan la cisterna inferior. Dirección dibujo STC



Figura 14
El banco sinusoidal de la plaza del Parc Güell de A. Gaudí, en proceso de construcción, a base de piezas prefabricadas de bóvedas tabicadas revestidas de «trencadís». Obsérvese las piezas diseminadas de los asientos y pies de bancos y al fondo, apoyadas, los espalderos

Las bóvedas de la escuela gaudiniana

Sin planificarlo, el resultado es que un grupo de arquitectos del Camp de Tarragona, atraídos por el ejemplo y la coherencia de Gaudí, desarrollaron una arquitectura propia, pero, a la par, fácilmente enmarcable, sin forzaduras, con los planteamientos y los resultados de Gaudí.

Francesc Berenguer, en primer lugar, Joan Rubió i Bellver, después y, en particular, José Mª Jujol, en sus estructuras cilíndricas cupuliformes de paraboloides de la Torre de la Creu o en el de la Iglesia de Vistabella; Luis Monmunill con la Masia Freixa y otra gran parte de sus obras, y después César Martinell con sus bodegas y almacenes, todos desarrollaron toda una serie de estructuras envolventes y equilibradas con el uso de arcos catenarios y las superficies desarrollables, consiguiendo unas síntesis de estructura y forma característica del maestro.

Merece especial referencia en esta relación de arquitectos gaudinianos, las bóvedas tabicadas de Lluís Moncunill y las de César Martinell, verdaderas contribuciones en este tipo de especialidad de bóvedas que estamos estudiando.

Preocupado por la resolución de aislamiento térmico de las bóvedas y de dotarlas de mayor rigidez a las cubiertas de las fábricas que hacía, Montcunill ensaya en dos primeras fábricas pequeñas: (la de la Sociedad General de Electricidad —1908— y la de Josep Sala), una nueva clase de bóveda a la catalana a base de unir dos bóvedas vaídas de 4 y 2 grosores respectivamente, mediante unos ladrillos transversales que las mantienen separadas unos 15–20 cm, y de 12 m de luz.[41]

Después de estos ensayos, se lanza, en la fábrica de hilados de Aymerich, Amat i Jover, (Figs. 16–18) de diez mil metros cuadrados cubiertos, a una de las creaciones de arquitectura fabril más cualificada de todos los tiempos. Mediante el diseño de una bóveda original de forma campaniforme de doble curvatura de 8 × 8 m. en planta, y de la clase de dos bóvedas tabicadas superpuestas que había inventado, dispone de un gran oleaje de bóvedas inclinadas en forma de diente de sierra orientadas a norte y apoyadas sobre unos esbeltos pilares de fundición. De este modo se crea un espacio extremadamente polarizado por la entrada de la luz y la orientación de las bóvedas, con la particularidad cualificadora que el espectáculo de las bóvedas vistas desde el suelo es diferente para cada orientación en que se las mire. Además, a causa de la configuración campaniforme de las mismas, su funcionamiento y grado de conservación ha sido tan perfecto que no ha presentado ninguna dificultad en convertirse en un gran museo, casi cien años después de haberse construido.

César Martinell, especializado en construir bodegas para las cooperativas agrícolas catalanas, de las que destacamos seis de cualificadas y otras diez menos significativas, tiene la importancia de haber no solamente resuelto el problema general de cubrición mediante unos arcos catenarios de ladrillos aplantillados extraordinarios, normalmente con tejado plano y viguería de madera, y con bóvedas vaídas tabicadas en el caso del Celler Gandesa, sino, también, de haber resuelto la construcción de las tinajas gigantes de 7 m de altura, así como sus soportes, canalizaciones, drenes y demás elementos

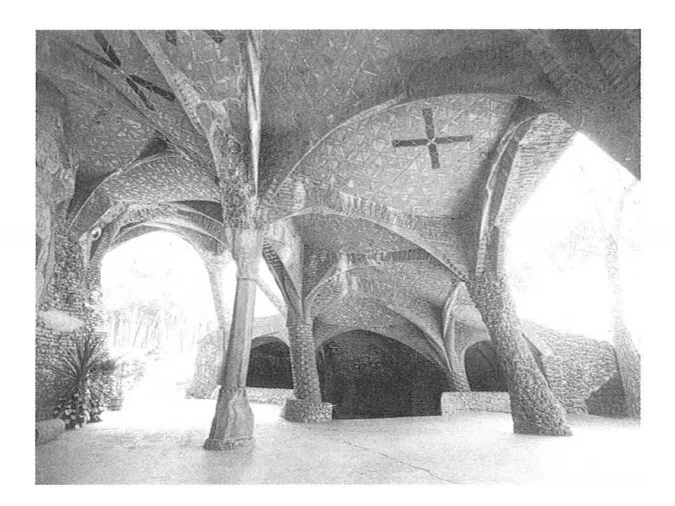
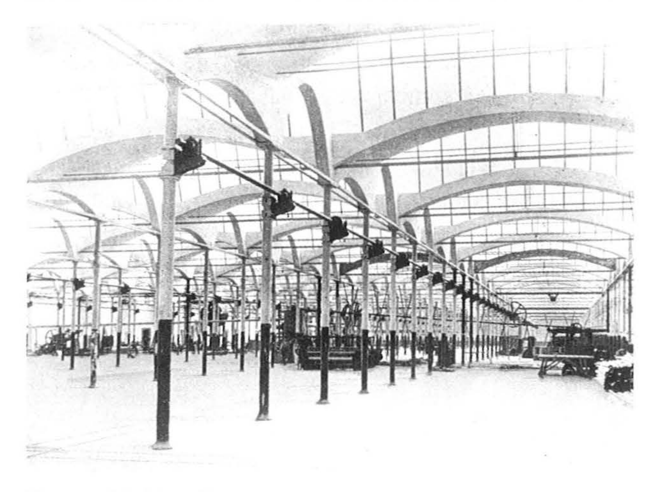


Figura 15
Bóvedas tabicadas con forma de paraboloide hiperbólico del pórtico de la Cripta de la Iglesia de la Colonia Güell, prefigurando la libertad compositiva de las cáscaras de las superficies laminares de hormigón armado tan repetidamente utilizados por tantos arquitectos e ingenieros posteriormente







Figuras 16, 17 y 18
Las bóvedas campaniformes dobles con cámara de aire intermedia, atirantadas y formando una cubierta de diente de sierra, de la fábrica Aymerich, Amat i Jover de Ll. Moncunill, son uno de los logros más relevantes de la arquitectura industrial de la época modernista, junto con el sistema de embarrados para la transmisión del movimiento giratorio desde la máquina de vapor central, a cualquier punto de la superficie de los 10.000 m^2 de la fábrica (se alquilaban a cuantos fabricantes de Terrassa quisieran, los m^2 y la potencia requerida)

de trabajo de elaboración del vino, mediante la técnica de bóvedas tabicadas. Pero, con tal grado de perfección, que llegó a solucionar el difícil problema del contacto de las paredes de las tinajas contiguas a fin de evitar en que la diversa temperatura de fermentación de cada una hiciera daño al vino de los contenedores vecinos. Para conseguirlo, hizo las paredes verticales de las tinajas independientes mediante dos bóvedas tabicadas verticales simétricas en forma de huso que se apoyaban únicamente en dos aristas, dejando el espacio intermedio vacío y abierto por sus extremos para ventilar y evitar la transmisión de temperatura.

La preocupación de Moncunill y Martinell para llegar a resolver los problemas fundamentales de estas superficies fabriles, les permitió conceder a estos lugares de trabajo,[42] toda la importancia que merecían, cualificándolos espacialmente. Sólo por eso, merecen un reconocimiento en la historia de la dignificación del trabajo del hombre, juntamente con otras aportaciones significativas de Eugène Freyssinet, como las fábricas de la Compañía nacional de Radiadores a Dammarie-les-Lys y los talleres de reparaciones de ferrocarril de Bagneux, entre otros autores.

Las derivaciones contemporáneas

Los ingenieros modernos

Propiamente, la relación de la bóveda a la catalana con la obra de los ingenieros civiles, solamente la conocemos de un modo cierto en el caso de Eduardo Torroja Miret.

La ascendencia catalana del padre y sus aportaciones en la geometría de las superficies regladas ya señaladas, más la existencia de construcciones con bóvedas tabicadas en Madrid, desde 1889, introducidas por el arquitecto Juan Bautista Lázaro,[43] amigo de Domènech i Montaner, debieron incidir en su campo de interés por las analogías formadas con las láminas de hormigón armado que tanta actualidad tenían en los años 30, sobre todo las relacionadas con los ingenieros alemanes, del que el Gran Museo de Leipzig, era un ejemplo básico.

Existen dos referencias precisas de bóvedas tabicadas utilizadas por Torroja: una en los cajones de cimentación del Puente de Sancti Petri, en Cádiz, obra encargada por su maestro Eugenio Ribera, y la otra es la cubierta del depósito de Fedala, en Marruecos, (1956), a base de dos superficies semitóricas, concéntricas.

Además, de evidenciar estos ejemplos, su dominio preciso de la técnica cerámica en cuestión, pensamos que pueden servir, también, para apoyar la interpretación de cómo las bóvedas tabicadas constituyen un precedente y un referente muy válidos, por la libertad de configuración que su historia aporta, para la búsqueda de las nuevas formas que las bóvedas laminadas emprenderán. Ignoramos de cierto la influencia real que las bóvedas de paraboloides hiperbólicos del pórti-

co de la cripta de la Colonia Güell tuvieron en Torroja, o en Félix Candela, pero en cualquier caso, desde nuestra perspectiva actual, todas forman parte de la red de referencias que independientemente de comportamientos mecánicos diversos, el patrimonio de las tabicadas se asocia con el de las laminares, formando una parte del gran universo de soluciones cualificadas de cubrición, a la espera de entrar en acción cuando sean consultadas.

Gaudí y las superficies laminares

Los Guastavino, con una ingente cantidad de cúpulas, bóvedas, cubiertas, techos, cielos rasos, escaleras y muchos géneros de estructuras, bastantes de la cuales fueron también formulaciones estructurales novedosas, a pesar de la servidumbre de no haber podido intervenir en el diseño de muchas de las partes sustentantes por ser obra de otros arquitectos, junto a Gaudí, creador de una gran variedad de nuevas estructuras, bien que a veces bastante escondidas detrás de una composición arquitectónica compleja, representan uno de los mitos destacados de las historias de la arquitectura y de la construcción.

George Collins, en un artículo memorable,[44] precisa las características de la escuela catalana de constructores modernos como opuesta a la de los países anglosajones y centroeuropea. Mientras estos últimos se distinguirían por sus capacidades de cálculo y sus construcciones lineales, bien sean metálicas o de madera, los catalanes lo harían por ser mas intuitivos, tener un sentimiento de inspiración en la naturaleza y por un tipo de estructuras más continuas como las bóvedas tabicadas expresan. Gaudí se sitúa en esta tradición, en el artículo de profesor norteamericano, como el logro más cabal de síntesis de estructura y forma, en la mayor parte de sus obras.

El artículo está escrito justo al acabarse el período de vigencia de las estructuras laminares de hormigón armado, las cuales habían empezado en los años 1921–1923, con los hangares de Orly de Freyssinet; el gran mercado de Leipzig de 1927–1929; la marquesina del Hipódromo de la Zarzuela (1935) y la cubierta del Frontón Recoletos (1935), ambas en Madrid, de Eduardo Torroja; las mejores cubiertas a base de paraboloides hiperbólicos de E. de la Mora, F. López Carmona construidos por Félix Candela, además de algunos propios como proyectista de los años 50–60,[45] Junto a una buena parte de la producción de Piere Luigi Nervi. Es decir, todo un período dorado de una arquitectura estructural en la que la relación entre la estructura y forma se funde en una unidad de estructura por forma que se puede resumir en un pensamiento rector de esta línea de tendencia de la arquitectura e ingeniería modernas, como un principio de economía de la sustancia, esto es, como «la tendencia a cubrir espacios más grandes con menos material».[46]

Desde la perspectiva de casi cincuenta años después, Collins encontró en la obra de Gaudí en gran parte cubierta por bóvedas tabicadas y de rosca, como la anticipación de aquella arquitectura estructural. Solo que había una pequeña diferencia entre él y los otros autores estructuralistas.

La síntesis arquitectónica de Gaudí era más libre, compleja y rica según le interesara en cada momento, mientras que los arquitectos e ingenieros modernos tenían un dogma, el considerar delito todo ornamento, que si bien ha sido la base de una gran parte de la identidad arquitectónica del siglo XX que tantos grandes logros ha permitido, por otro lado, como todo prejuicio, ha hecho también muchos prisioneros.

Le Corbusier.

Dado el papel central de referente ejercido por Le Corbusier en la historia de la arquitectura europea en el siglo XX, bueno será que empecemos con sus aportaciones.

Sensibilizado gracias a su colaboración en el estudio de August Perret con las bóvedas de hormigón armado desde una fecha tan temprana como 1908, su proyecto de Casas Monol de 1919, muestran ya un gran interés por este tipo de cubiertas que no abandonará nunca. Seguirá atentamente la obra de E. Freyssinet, el mayor ingeniero constructor de la historia (sic), según opinión autorizada del también ingeniero José A. Fernández Ordóñez,[47] sobre todo los gigantescos hangares de dirigibles de Orly.

En 1928, visita Barcelona y las cubiertas de las escuelas de la Sagrada Familia, a base de una solera tabicada conoidal, le impactarán tan profundamente que volverá a ella de forma recurrente: en 1935, en la búsqueda de la solución de la cubierta de la casa de la calle Saint Claud, en París; y en segundo lugar, en la de la gran cubierta del Palacio de Justicia de Chandigarh (1951–1956), como certifican sus libretas de viaje.

Pero será en la década de los 50 cuando el interés por las bóvedas a la catalana se despierta más vivamente. En 1949, proyecta el pueblo turístico de St. Baume ya a base de bóvedas tabicadas. Las Casas Jaoul, son de 1952 y constituyen su primera construcción con cubiertas tabicadas cilíndricas, que alcanzaran su expresión más acabada en la Casa Sarabhai, de 1955, a pesar de que las bóvedas no emergen en fachada como acontecía en el anterior ejemplo.

Le Corbusier busca las referencias directas de la construcción de bóvedas tabicadas y es un arquitecto catalán, Domènech Escorsa, exiliado en Francia, el que no solamente le facilita la información concreta de sus ca-

racterísticas, sino que construye con sus propias manos un ejemplo ante el maestro francés y enseña a sus colaboradores para que puedan transmitir la experiencia a la India, donde deberá construirse la Casa Sarabhai y otros edificios populares que Le Corbusier pensaba construir en Chandigarh.[48]

El GATCPAC

El Grupo de Arquitectos y Técnicos Catalanes para el Progreso de la Arquitectura Contemporánea, formada por los arquitectos Josep Mª Sert y Josep Torres Clavé, entre los más conocidos, merecen una especial mención por el uso y reconocimiento de las bóvedas tabicadas.

Discípulos de Le Corbusier, tuvieron la madurez desde el inicio, 1930, de valorar muy positivamente la tradición constructiva catalana que gracias a los diestros albañiles se mantenía viva, incorporándola al diseño de sus proyectos en una síntesis de progreso y tradición. Si, por un lado, propiciaron las estructuras metálicas, las fachadas no portantes, los materiales nuevos, por otra no renunciaron al uso de las técnicas del ladrillo, en muros, forjados, azoteas, divisiones internas, etc., lo que otorga a sus edificios este equilibrio entre formas modernas y ciertos materiales comunes.

En concreto, por lo que respeta a la bóveda tabicada, los dos arquitectos mencionados realizaron en El Garraf, unas casitas de fin de semana, resueltas con cubiertas de dicho sistema que unían a la gracia de la definición de unos espacios mínimos, integrados perfectamente en la naturaleza con el zócalo de piedra rústica y los pinos que los cubrían, y el equipamiento de un mobiliario de ascendencia popular que hacían muy entrañables aquella arquitectura simple y sincera.[49]

Antoni Bonet, estudiante de arquitectura por aquellos años, fue socio estudiante del GATCPAC y siempre estuvo muy cerca de Torres Clavé y todo lo que este representaba en la búsqueda de aquella síntesis entre progreso y tradición._

Antoni Bonet Castellana

La influencia de Le Corbusier, trascendió a América, donde desde 1939 Antoni Bonet Castellana había emigrado a Buenos Aires, después de trabajar en el despacho del maestro francés durante la Guerra Civil española, entre 1936 y 1938. Sus primeros proyectos con bóvedas laminares de hormigón armado, pronto evolucionaron hacia el uso de bóvedas cerámicas (pues a pesar de su origen catalán, no conocía en detalle su técnica), gracias a la participación de Eladio Dieste, como calculista e inventor, en el proyecto de Casa Berlingieri (1947) en Uruguay. La Casa la Ricarda (1950–1963), en el Prat de Llobregat, será la manifestación más madura y completa del interés de Bonet por las bóvedas ligeras que aunque no propiamente tabicadas, sino de hormigón armado aligeradas con piezas cerámicas.[50]

Luis Moya Blanco

Después de la guerra civil española, en un clima de autarquía y aislamiento, el ahorro en el uso del hierro obliga en la construcción a la utilización de estructuras a compresión, como son arcos y bóvedas, entre las que destacan las del arquitecto madrileño, Luis Moya, que en una síntesis muy personal y compleja, aúna historia y modernidad, así como estructura y forma.

Luis Moya ejerce un papel importante, porque es el principal receptor del conocimiento de la obra de R. Guastavino en España a través de un álbum de fotografías que le entregó Belmás, arquitecto que recibió el magnífico legado del propio Guastavino en el Congreso de Arquitectos de Madrid, y que después Moya entregará a Collins para su estudio y custodia; hoy depositado, finalmente, en la Biblioteca de Avery de la Universidad de Colombia junto a todo el legado de la empresa de los Guastavino.

Moya, que publicó el primer libro en la posguerra sobre las bóvedas tabicadas,[51] en su búsqueda de una arquitectura propia, incorpora la tradición de arcos cruzados y la de bóvedas tabicadas en una compleja síntesis de referencias históricas muy elaboradas, que a menudo, por lo complejo, hacen difícil la lectura y comprensión de sus edificios.

Uno de sus logros más equilibrados, lo constituye el Museo de América, de Madrid, donde una clara tipología edificatoria de patio, se compone con una modulación aritmética uniforme y se construye con la lógica constructiva de las formas de trabajo a compresión, a base de muros de fábrica y bóvedas tabicadas reforzadas con arcos cruzados con lo que se consigue una obra de gran coherencia y belleza, a pesar de su apariencia externa historicista.

Junto a Moya, del conjunto de arquitectos madrileños de los años de posguerra, destaca por su racionalidad la obra de Francisco Cabrero que en el uso de las bóvedas tabicadas aportó un ejemplar modelo de vivienda económica de extrema racionalidad y belleza.

En Calaluña, correspondiendo a este clima de autarquía de la postguerra y ahorro de materiales férreos, cabe destacar la labor de Agustí Bosch, ligado al ejercicio de las bóvedas tabicadas en edificios residenciales en altura, de las que llegó a construir diversos ejemplares en Girona y en particular, la cubrición de la Catedral de Girona a base de bóvedas tabicadas.[52]

Los arquitectos argentinos

La difusión de las bóvedas tabicadas en Argentina es un capítulo poco conocido, pero, del que existe cierta biografía,[53] que puede servir de referencia para otras investigaciones a desarrollar en otros países latinoamericanos.

A partir de ejemplos anónimos de construcciones con bóvedas tabicadas, que derivan, suponemos, de la emigración de albañiles catalanes, cruzada con la influencia de la difusión de los ejemplos de Le Corbusier, se desarrollan una serie de proyectos y obras a base todas de cubiertas de bóvedas a la catalana, que germinó en una quincena de ejemplos de viviendas unifamiliares, repartidas por toda Argentina profunda. En efecto, a partir del referente del uso popular de bóvedas tabicadas en la provincia de Córdoba, región de la laguna de Mar Chiquita, el arquitecto Eduardo Sacristie constituye el primer impulsor de todos estos ejemplos con sus Casas Clérico Hnos. (1948–1952).

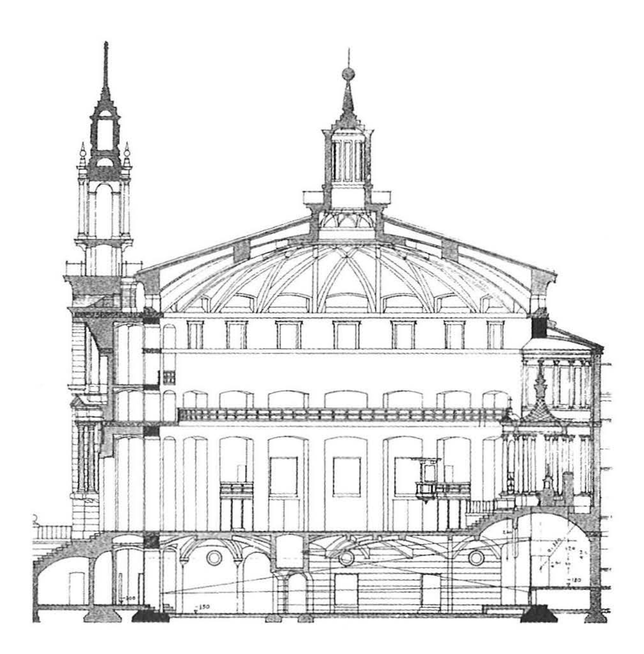


Figura 19
Sección longitudinal de la Iglesia de S. Agustín de Madrid de L. Moya

La cerámica armada de Eladio Dieste

La obra y biografía de este ingeniero civil es, y lo será más aún en el futuro, un capítulo importante de la historia de la arquitectura moderna latinoamericana.

Como ya hemos citado, Antonio Bonet llamó a E. Dieste para que le calculara unas bóvedas de hormigón en el proyecto de la Casa Berlingieri, del que tras largas discusiones y estudios, derivó su invención de la cerámica armada.[54] Estructura mixta de hormigón armado con piezas cerámicas aligerantes pero trabajando a compresión, Dieste evolucionó y perfeccionó su proceso hasta llegar a utilizar el recubrimiento cerámico como acabado visto.

La sabiduría y pericia de Dieste, consistió en facilitar la construcción de estas bóvedas mediante la mecanización parcial de su proceso constructivo, al propio tiempo que perfeccionar su método a fin de alcanzar la reducción extrema de los espesores y tal calidad de acabado, que el recubrimiento cerámico visto constituyó su mejor recurso de conformación y de acabado del edificio. De esta manera, consiguió tal economía de costes que ganaba todos los concursos que se presentaba en naves industriales, almacenes, mercados, centros comerciales, etc., alcanzando a construir complejos de 150.000 m^2 de superficie cubierta, en una sola obra.

Pero fue su gran creatividad lo que le permitió alcanzar ser considerado un gran maestro de la arquitectura moderna. Sus iglesias de la Atlántida (1956) (Figs. 20 y 21), la de Ntra. Sra. de Lourdes (1967) y la de S. Pedro de Durazno (1969), siempre a base de cerámica vista estructurante y a partir de tipologías edificatorias derivadas de su experiencia en naves industriales, alcanzarán tal libertad de composición en los cerramientos verticales y horizontales y en el dominio de la luz, que las mismas constituyen aportaciones singulares a la arquitectura sacra.[55] En particular, las dos primeras nos hace sentir muy próxima la herencia de Gaudí, que seguramente la alcanza, sin buscarla.

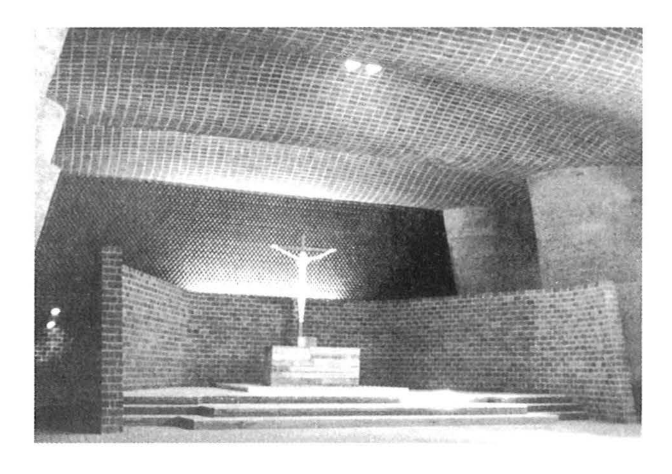
Otra vez, la conjunción de un dominio técnico sin par de los medios auxiliares de construcción, una mano de obra supercualificada y un instinto constructivo, estructural y creativo adecuados, otorgan a sus edificios la cualidad de obras de arte señeras.

De este modo, se consigue crear un nuevo material, la cerámica armada, de tal categoría, dignidad y nobleza como Gaudí había alcanzado con las bóvedas tabicadas vidriadas del Parc Güell o las del pórtico de la cripta de la Colonia Güell.

Epílogo

En el largo recorrido de la evolución de las bóvedas tabicadas reseñado, desde las cortezas de hielo de los iglúes, hasta la forma mixta de cerámica armada, se han ido desplegando las diversas facetas, variantes las hemos llamado, de su realizarse en el tiempo, adaptándose a las exigencias y necesidades de cada momento histórico, evolucionando, transformándose y hasta transmutándose, pero manteniendo, al propio tiempo, unas permanencias que constituyen la cualificación que tienen estas bó-





Figuras 20 y 21
Vistas exteriores e interior de la Iglesia Parroquial de Atlántida, Uruguay obra de E. Dieste a base de cerámica armada

vedas que, a la seducción y magia propia de las formas volteadas (a causa de su geometría de la continuidad, geometría del tacto y de nuestro cuerpo, y de su reflexión lumínica y acústica), incorporan su ligereza, simplicidad, economía y, cuando sus piezas cerámicas son dejadas vistas, la calidez de su constitución térrea, en suma, espiritualidad y materialidad, que las hace sentir muy muestras.

Dicho camino, fruto de una pasión por una forma catalana de cubrir el espacio, ha de tomarse como una reflexión detenida en el tiempo, pero que ha de seguir su curso en proceso abierto de desarrollo, precisión, corrección y reconstrucción si es necesario.

Apéndice

Denominación de las bóvedas tabicadas en distintas lenguas:

CASTELLANO
bóvedas tabicadas
bóvedas de panderete
bóvedas catalanas
CATALÁN
voltes de maó de pla
volta de rajola a la catalana (s. XVI)
volta d'algeps i de rajola (s. XVI)
volta grassa (s. XVI)
volta grassa de terra cuita (s. XVI)
PORTUGUÉS
abobadilha alentejana
ITALIANO
volta a foglia
volta alla volterrana
volta alla siliciana
FRANCÉS
voûte plate
voûte a la Roussillon
INGLÉS
thin tiled vaults
thin tile vaulting
«Guastavino System»

Notas

1. Juan Eduardo Cirlot, *El arte de Gaudi*, Barcelona: Ediciones Omega, 1952.
2. Augusto Choisy, *L'ârt de batir chez les romains*, París: Librairie générale de l'architecture et des travaux publics Ducher et Cie, 1873. [Existe edición castellana a cargo del Instituto Juan de Herrera y el CEHOPU, Madrid, 1999].
3. Joan Bergós, *Tabicados huecos,* Barcelona: Colegio de arquitectos de Cataluña y Baleares, 1965.
4. Philippe Araguas, «Voute à la Roussillon», *Bulletí de la Reial Acadèmia Catalana de Belles Arts de Sant Jordi*, 13, Barcelona (1999): 173–185. Agradecemos al autor su comunicación.
5. Arturo Zaragozá Catalán, *Arquitectura gótica valenciana. Siglos XIII–XV*, Valencia: Generalitat Valenciana, 2000, 89–90.
6. George R. Collins, «The Transfer of thin Masorry Vaulting from Spain to America», *Journal of the Society of Architectural Historians*, 27 (octubre 1968), 176–201. [Véase la traducción castellana de este artículo en este mismo catálogo: «El paso de las cáscaras delgadas de fábrica desde España a América»].
7. Turpin C. Bannister, «The Roussillon Vault, The Apotheosis of a "Folk construction"», *Journal of the Society of*

Architectural Historians, 27 (octubre 1968): 163–175. Artículo revisado por Collins.
8. Joan Bassegoda Nonell, *La cerámica popular en la arquitectura gótica*, Barcelona: Ediciones Thor, 1978.
9. Joan Bassegoda Nonell, *La cerámica popular,* 80–88.
10. Joan Bergós, *Tabicados huecos*, 9.
11. J. Bassegoda, *La cerámica popular*, 94.
12. J. Bassegoda, *La cerámica popular*, 95.
13. Agradezco al Prior de la Cartuja de Montalegre el libre acceso a las diversas estancias del monasterio para el estudio de sus bóvedas.
14. Josep Ràfols i Fontanals, *Pere Blai i l'arquitectura del renaixement a Cataluya*, Barcelona: Associació d'Arquitectes de Cataluña, 1934.
15. Joaquim Bassegoda Amigó, «Transició de les voltes de pedra a les de maó de pla en les esglésies de Catalunya», *Memòries de la Academia de Ciències i Arts de Barcelona*, 3ª época, 25 (1936): 353–357.
16. J. Bassegoda Amigó, «Transició de les voltes de pedra», 353–357.
17. Luis Moya Blanco, *Bóvedas tabicadas*, Madrid: Ministerio de la Gobernación, Dirección General de Arquitectura, Servicio de Publicaciones, 1947. [Edición facsimil: COAM, 1993].
18. Manuel Fortea Luna y Vicente López Bernal, *Bóvedas extremeñas. Proceso constructivo y análisis estructural de bóvedas de arista*, Badajoz: Delegación de Badajoz. Colegio Oficial de Arquitectos de Extremadura, 1998.
19. Las referencias bibliográficas de George Collins en su artículo de la nota 6, fueron una vez más un punto de partida fundamental en este sentido para José Sánchez Leal.
20. Conocido, junto con Enrique de la Mora, por los mejores proyectos a base de paraboloides hiperbólicos de hormigón armado construidos por Félix Candela, como los de las iglesias de S. Antonio de las Huertas, del Altillo, en México D.F., y las de San José Obrero en Monterrey N.L. y S. Vicente Paul en Loyacán, México D. F. Véase: F. López Carmona, «Cuarenta años trabajando con bóvedas: la forma adecuada de la arquitectura», *Apuntes del curso. Las grandes bóvedas hispanas,* Madrid (1998): 67–73.
21. José Sánchez Leal, «Supervivencia de las bóvedas autosostenidas de rosca y tabicadas extremeñas», *Apuntes del Curso. Las grandes bóvedas hispanas*, Madrid: Ministerio de Fomento (1997): 107–113.
22. José Sánchez Leal, «Supervivencia de las bóvedas autosostenidas», 107–113.
23. Vicente Paredes Guillén, *Construcción sin cimbra de las bóvedas de ladrillo con toda clase de morteros,* Archivo Histórico Provincial de Cáceres: Legado Paredes. Caja 92, exp. 40, 1883. Manuscrito
24. Manuel Núñez, «Arquitectura prerrománica» dentro de la colección *Historia de la Arquitectura Galega,* Santiago de Compostela: COAG, 1978, 83–96.
25. Según opinión de Luis Caballero Zoreda, autor del plano estratigráfico de la iglesia de Sta. Comba de Bande, comunicado por nuestro amigo José Sánchez Leal.
26. Las bóvedas tabicadas extremeñas están formadas por un grueso de ladrillo tomado con mortero de cal y reforzadas mediante un recubrimiento de este mismo material, en contraposición a las bóvedas catalanas formadas con un primer grueso de rasilla tomada con yeso y dobladas o triplicadas según la luz mediante ladrillos tomados con mortero de cal antiguamente y de cemento Portland hoy día.
27. El artículo de Turpin Bannister (véase la nota 7) es la referencia básica de todo este apartado. La referencia, en concreto, son unos dormitorios del Convent de Franciscans, del siglo XIV.
28. En 1707, un monje catalán lleva al convento Capuchino de Castelnaudary, las bóvedas tabicadas con motivo de las obras en el refectorio, cocina y corredores. En 1713, los Carmelitos Descalzos de Tolosa de Llenguadoc, las aplican a su iglesia. En 1743, pasa lo mismo en los Seminarios de Jesuitas de la misma ciudad, etc.
29. Un antecedente medieval de menor escala, lo constituye la Lonja de los Maestros de la Catedral de Estrasburgo, donde mientras los forjados de la casa son de madera, existe una habitación con la puerta de hierro y paredes suelo y bóvedas superior e inferior de piedra, donde se guardaba el dinero de todos los maestros y operarios de la catedral para garantizar su incombustibilidad en caso de incendio.
30. La lámina de la solución del desván a base de tabiques o «comble briqueté», que publica d'Espie en su libro y sintetizó después Piarre Patte en su volumen de J. Blondel, será la mejor síntesis de la aportación francesa en la historia de bóvedas tabicadas.
31. A riesgo de una opinión meramente personal, cuando fui a vivir a Galicia tuve que tomar agua bicarbonatada para neutralizar el acidez del agua de Santiago y poder abrirme el apetito, igual que era necesario tirar cal viva a la tierra para hacerla productiva.
32. Josep M. Muntaner, *La modernització de l'utillatge mental de l'arquitectura a Catalunya (1714–1859)*, Barcelona: Institut d'Estudis Catalans, 1990.
33. Josep Mora Castellà, *La construcció a Catalunya el segle XVIII. La Universitat de Cervera com a paradigma de l'arquitectura dels enginyers militars*, Cervera: Biblioteca de Cervera y la Segarra, 1997 (Edición a cargo del autor), 53.
34. La información de Montblac nos ha sido facilitada por el historiador Joan Foguet.
35. Tan fuerte era la competencia, el control social y profesional, la fuerza de la tradición artesanal y las exigencias de afirmación social.
36. La empresa cerámica catalana «Cosmetoda», fabricante del baldosín impermeable, envió a Madrid, uno de sus mercados más importantes, un equipo permanente de buenos colocadores para garantizar la perfecta colocación en las azoteas de sus piezas y de esta manera de asegurar el éxito del producto.
37. Hoy en día faltan las guirnaldas que colgaban por todo alrededor de las barandillas de los palcos y que una restauración desacertada eliminó, hacia los años 70, empobreciendo la sala.
38. Con soluciones de bóvedas a la catalana según proyecto de Guastavino.
39. Isidre Puig Boada, «Gaudí nos habla», *Mascellanea Barcinonensia*, Barcelona: Ayuntamiento de Barcelona, año 15, 44, (1976).

40. Eduardo Torroja Caballé, padre del Ingeniero de Caminos, Eduardo Torroja Miret, geometra destacado, publicó en 1904 la *Teoría geométrica de las líneas alabeadas y de las superficies desarrollables*, donde define las características geométricas de las superficies que Gaudí aplicaría en el pórtico de la Cripta, de la Colonia Güell, construido hacia 1915.
41. Jerononi Martorell Terrats, «Estructuras de ladrillo y hierro atirantado en la arquitectura catalana moderna», *Anuari de l'Associació d'Arquitectes de Catalunya*, Barcelona (1910): 119–146.
42. Normalmente olvidados por la historia de la arquitectura, que como todas las historias, ha sido una historia elitista hasta hace muy pocos años y, por tanto, considerados como espacios simplemente utilitarios y la mayor parte de las veces deshumanizados.
43. Javier García-Gutiérrez Mosteiro, «La obra arquitectónica de Juan Bautista Lázaro», *Academia Boletín RABASF*, Madrid, 74 (1992): 445–443.
44. George R. Collins, «Antonio Gaudí: Structure and Form», *Prespecta 8*, NewHaven: Yale University School of Architecture (1963): 63–90. [Existe traducción castellana en *Hogar y Arquitectura*, Madrid, 66 (9 de octubre de 1966): 34–52 (revista dirigida por Carlos Flores) y de forma condensada en *Jornadas Internacionales de Estudios de Gaudinistas*, editada por César Martinell, Barcelona (1970): 17–22.
45. La pervivencia del periodo de las bóvedas laminares de hormigón armado duró hasta los años 60, cuando el coste de la mano de obra hizo prohibitivo su uso. No por casualidad son los mismos años en que se cierra la empresa de Guastavino condenada por igual motivo.
46. Según expresión de Félix Candela.
47. José A. Fernández Ordóñez y Miguel Aguiló, *Eugène Freyssinet*, Barcelona: Ediciones 2c, 1978. Existe edición en francés e inglés por la misma editorial y más lujosa. El editor de ambos libros le cabe el honor de haber sido el que suscribe.
48. Fernando Marça y Esteve Roca, «La volta catalana a l'obra de Le Corbusier», *Le Corbusier i Barcelona*, Barcelona: Fundació La Caixa de Catalunya (1988): 111–134.
49. Revista *A.C. Aumentos de la actividad contemporánea*, Barcelona: Publicación del GATEPAC, año V, 19, (3^er^ trimestre 1935).
50. Fernando Álvarez, «Edificios de bóveda de Antonio Bonet», *Apuntes del Curso. Las grandes bóvedas hispanas*, Madrid: Ministerio de Fomento, (1997): 9–12.
51. Luis Moya Blanco, *Bóvedas tabicadas*.
52. Ignacio Bosch Reitg, «La bóveda vaida tabicada», *Revista Nacional de Arquitectura*, Madrid, 89, (1949): 185–199.
53. E. Sacristie, P. A. Kechichian y J. G. Mackintosh, *Viviendas con bóvedas*, Buenos Aires: Espacio Editora, 1977–166
54. «Diálogos con Dieste», *Eladio Dieste, el maestro del ladrillo, Sumarios,* 12 (julio 1980), donde explica de manera precisa la colaboración con A. Bonet Castellana.
55. Los ejemplos de iglesias duplicadas recientes (1996–1999) que Dieste accedió a reproducir en Alcalá de Henares, al no disponer ni de los medios mecánicos, ni de mano de obra suficientemente cualificada, quedan reducidos a modelos caricaturizados.

La bóveda tabicada a la catalana y el nacimiento de la «cerámica armada» en Uruguay

Jos Tomlow

Dos personas de distinta profesión y de caracteres diferentes —un arquitecto catalán y un ingeniero uruguayo— discutieron el uso del ladrillo en la construcción de bóvedas. A partir de su primer encuentro en 1946, se desarrollaron dos excelentes carreras en el campo de la arquitectura. Ambos debieron parte de su éxito a una tradición constructiva: la bóveda tabicada o «a la catalana».

Este artículo analiza el fenómeno de la invención en el proyecto de edificios, basándose para ello en la información histórica sobre el arquitecto Antonio Bonet Castellana (1913–1989)[1] y el ingeniero Eladio Dieste (1917–2000).[2]

La casa Berlingieri (1946–1947),[3] de Antonio Bonet Castellana, supuso un cambio radical en la arquitectura de la época. Al utilizar el ladrillo en la estructura abovedada de la cubierta en una casa moderna se puso de manifiesto la preferencia por un material tradicional. Es más, al referirse explícitamente a la tradición de las bóvedas tabicadas, Bonet introdujo un sentimiento casi folclórico. La ejecución técnica de las bóvedas, y más exactamente su solución estática, se convirtió en un aspecto importante al que contribuyó un joven ingeniero local: Eladio Dieste. Las cuestiones que se plantean son: qué proceso fue necesario para desarrollar la solución que aparece en la casa Berlingieri, y cómo Bonet y Dieste siguieron adelante con la idea de la bóveda tabicada, que tuvo que adaptarse a los métodos modernos de construcción y a la teoría de las estructuras.

Fascinación histórica y moderna por la bóveda tabicada

Antoni Gaudí (1852–1926) fue el exponente más creativo de un conjunto de arquitectos e ingenieros que, a finales del siglo XIX, mostraron interés por la bóveda tabicada, una solución constructiva cuyas raíces se remontan al gótico catalán y a los ladrillos de cerámica cocida de la época romana. En paralelo con la vasta producción de bóvedas tabicadas de estilo Reinaxença (Historicismo) y de estilo modernista (la versión catalana del Art Nouveau), se publicaron análisis estáticos y técnicos en revistas como el *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña y Baleares*.[4] Mientras tanto, en los Estados Unidos, Rafael Guastavino Moreno (1842–1908) y su hijo Rafael Guastavino Expósito (1872–1950) fundaron una enorme empresa constructora a partir de invenciones y patentes basadas en el sistema de la bóveda tabicada.[5] Rafael Guastavino Moreno tuvo su primera experiencia fructífera ya en 1869, en la fábrica Batlló de Barcelona, lo que le convierte en uno de los precursores del renacimiento de la bóveda tabicada.[6] Algunos aspectos de los tipos estructurales, incluida esta bóveda tabicada, se analizaron con detenimiento en las publicaciones del brillante ingeniero Félix Cardellach Alives (1875–1919).[7]

Hacia 1930, los contactos que mantuvo José Luis Sert (1902–1983) con Le Corbusier (1887–1965), uno de los maestros de la arquitectura moderna, indican que la bóveda tabicada era un punto de interés común, seguramente relacionado con su admiración por Gaudí.[8] ¿Cómo es que este «hiperbarroco» adversario del Movimiento Moderno (como Theo van Doesburg describió a Gaudí) y ese «arcaico método de construcción con rasillas» (como denominan incluso los críticos recientes al material constructivo preferido por Gaudí) llamó la atención de dos maestros modernos de primera fila? La respuesta puede encontrarse quizás en la manera en que Gaudí trataba la bóveda tabicada, que mostraba un racionalismo estricto en su diseño, e incluía métodos experimentales para generar formas de acuerdo con las le-

Traducción de Jorge Sáinz.

yes de la estática (los modelos colgantes) o a partir de la geometría (superficies regladas y de revolución).[9] Por lo que se refiere a la propia bóveda tabicada, sus grandes virtudes son bien conocidas hoy en día: un mortero de yeso de fraguado rápido permite al albañil construir un muro o una bóveda con dos o tres hojas de rasilla, incluso cuando la fila recién puesta queda en voladizo. Las rasillas están bien cocidas y esta fábrica, con un espesor de tan sólo 7–9 cm, es extraordinariamente rígida. En superficies de doble curvatura (cúpulas) se pueden alcanzar luces de 10 m e incluso más. Las juntas de la capa superior se realizan con mortero de cemento para que la superficie no deje pasar el agua.[10]

Investigaciones recientes han demostrado que el interés de Le Corbusier y Sert por la forma de la bóveda de cañón fue duradero. Auguste Perret, maestro de Le Corbusier, había usado cubiertas de hormigón con armadura corrugada en Casablanca (1915), y en las casas Monol de Le Corbusier también aparecen bóvedas de cañón. Algunos bocetos de Le Corbusier ponen de manifiesto su interés por la bóveda tabicada, y en particular de su aplicación en las Escuelas de la Sagrada Familia, como se observa en un dibujo de 1928. Sert, junto con Josep Torres Clavé, utilizó bóvedas de cañón a la manera catalana en las viviendas para turistas de Garraf (1935), con luces todavía modestas de unos 4 m. La primera construcción de Le Corbusier con bóvedas de cañón, aunque de hormigón armado, fue una casa de fin de semana en la Celle Saint-Cloud, a las afueras de París (1935). Los proyectos con bóvedas de cañón continuaron, también con la cooperación del propio Bonet. Sólo unos años después de la casa Berlingieri, a mediados de los años cincuenta, Le Corbusier encontró medios técnicos adecuados para incluir las bóvedas de cañón tabicadas (como encofrados perdidos de los forjados) en las Maisons Jaoul y en la casa Sarabhai.[11]

Durante el franquismo, después de la Guerra Civil (1936–1939), los arquitectos españoles mostraron un interés específico por la bóveda tabicada.[12] Las restricciones económicas de una España políticamente aislada contribuyeron a impulsar soluciones que evitasen la importación de acero. Posteriormente, el abovedado según la tradición catalana reapareció como un sistema estructural. Estilísticamente, esta parte de la arquitectura franquista muestra, entre ejemplos neobarrocos, algunas obras originales de cierto atractivo moderno y novedoso, como los edificios de Francisco de Asís Cabrero y Jaime Ruiz en la Feria del Campo de Madrid (1948–1949). Las bóvedas se utilizaron incluso en algunos edificios de viviendas, como en el conjunto Virgen del Mar, construido por Cabrero en Madrid.[13] Carlos Flores relacionaba en 1961 este uso de la bóveda tabicada con el objetivo de reducir el consumo de acero en el sector de la construcción.[14]

Los encuentros de Bonet con los maestros del movimiento moderno y su establecimiento en América Latina

Bonet, deseoso de aprender la arquitectura moderna de Sert y Le Corbusier, colaboró con ambos arquitectos. De este modo tomó conciencia de la mayoría de los hechos que se han mencionado anteriormente acerca de la utilización de las bóvedas tabicadas y las bóvedas de cañón en la arquitectura moderna. Como prueba de ello, Bonet, junto con el pintor chileno Roberto Matta Echaurren, dibujaría en el estudio de Le Corbusier los planos del proyecto de una Maison Jaoul de fin de semana (1937) con amplios tejados de un material ondulado o —en otro dibujo de esta serie— de un material sin especificar.[15]

Bonet se vio obligado a abandonar España y a buscar una nueva vida para su familia debido a las complejas circunstancias de la Guerra Civil. Se marchó a América Latina, como muchos otros exiliados, con los que mantuvo estrechos contactos, tanto privados como profesionales. Formado por los maestros para dar una respuesta teórica en su nueva situación profesional, Bonet y otros arquitectos que trabajaban en Argentina fundaron el Grupo Austral y lanzaron un manifiesto denominado «Voluntad y acción», publicado en la revista *Nuestra arquitectura* en junio de 1939. En once puntos, «Voluntad y acción» analiza la necesidad de inspirarse en las artes plásticas modernas y el Surrealismo, así como la conveniencia de una formación arquitectónica funcionalista, en lugar de la educación ofrecida por entonces, que se criticaba por ser demasiado académica. El Grupo Austral se situaba explícitamente dentro de la tradición no sólo de maestros como Wright, Gaudí, Eiffel, Perret y Le Corbusier, sino también —en publicaciones posteriores— en la tradición de la construcción rural.

Todo esto muestra una nueva actitud fuertemente reformadora (aunque menos revolucionaria que la de los maestros modernos del periodo heroico) en pro de una arquitectura que respetase la naturaleza y las leyes físicas. Esto resulta muy relevante para la preocupación actual por la ecología.

En este fructífero periodo teórico surgió un proyecto concreto en el que pudieron alcanzarse muchos de los objetivos formulados: el centro turístico costero de Punta Ballena, en Uruguay (1945), con la casa Berlingieri (1946–1947). Después de haber construido las casas de Martínez (hacia 1940),[16] cerca de Buenos Aires, con bóvedas de cañón en hormigón armado (Fig. 1), Bonet buscó en Uruguay un colaborador local para hacer la estructura de la casa Berlingieri (Fig. 2). Bonet encontró en el ingeniero Eladio Dieste una persona sin prejuicios con la que discutir este asunto.

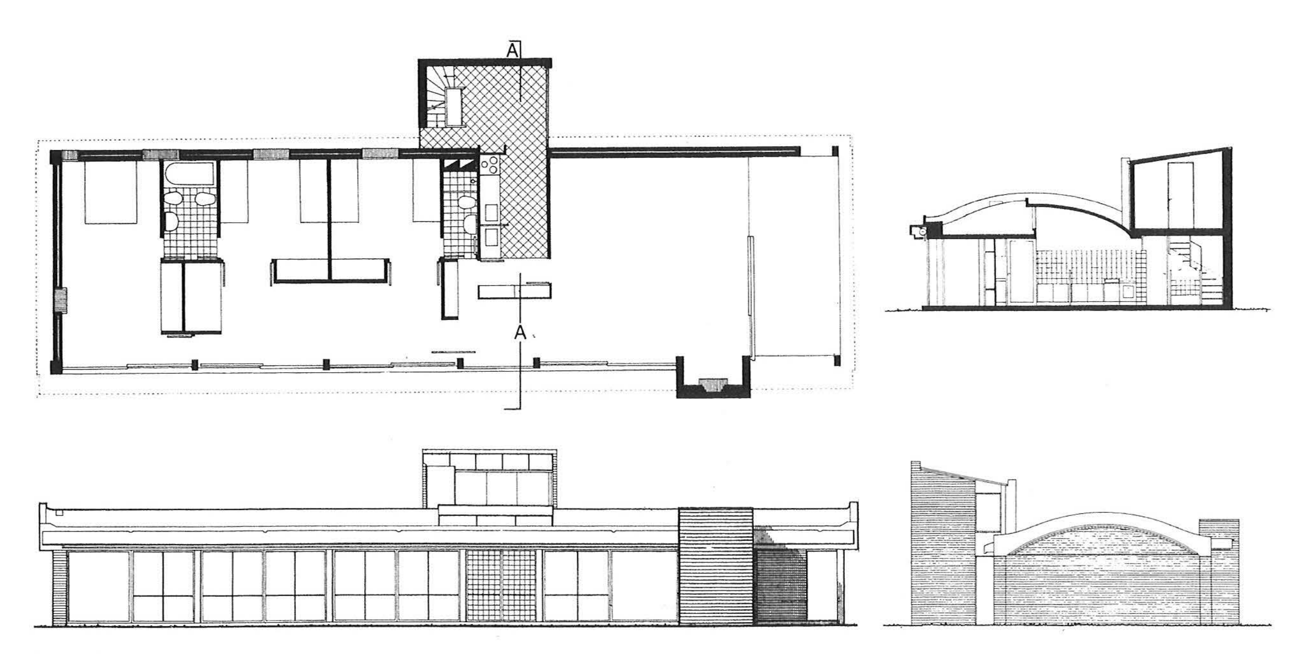


Figura 1
A. Bonet Castellana, casas en Martínez (alrededor de 1940), Argentina. Planta, sección y fachadas de la Casa B. (E. Katzenstein et al., *Antonio Bonet: arquitectura y urbanismo en el Río de la Plata y España,* Buenos Aires, 1985)

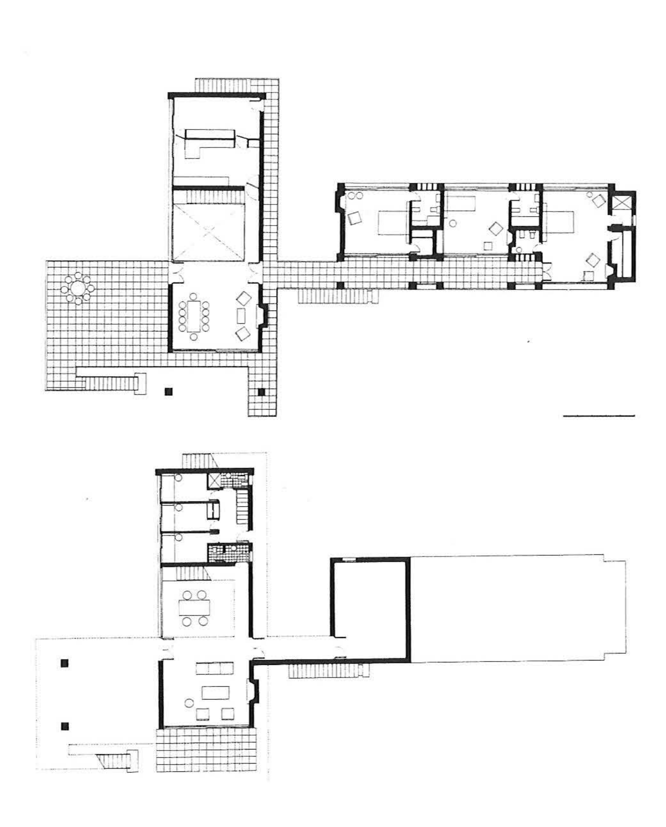


Figura 2
A. Bonet Castellana, casa Berlingieri (1946–1947), Uruguay. Plantas. (F. Álvarez et al., *Antonio Bonet y el Río de la Plata,* Barcelona, 1987)

La formación profesional de Dieste y sus primeras obras

Eladio Dieste nació en Artigas, Uruguay, en 1917 y murió en Montevideo en el verano de 2000. Antes de la II Guerra Mundial, al igual que otros países de América Latina, Uruguay y su capital Montevideo mostraban un desarrollo moderno en muchos aspectos. Los niveles de formación técnica y cultural eran similares a los europeos o norteamericanos, y los viajes transatlánticos en barco eran frecuentes entre las clases medias o altas. De este modo, Dieste recibió una formación como ingeniero civil comparable a los niveles europeos de la época. Además, debido a la constante actividad edificatoria desarrollada en las ciudades, la mano de obra y los oficios del sector de la construcción tenían un nivel muy alto. A lo primero que se dedicó Dieste a principios de los años cuarenta fue a las estructuras convencionales de hormigón armado, incluidas las cáscaras delgadas, para una compañía danesa. Junto con Eugenio R. Montañés, Dieste fundó en 1946 una empresa constructora. Las cáscaras son estructuras superficiales continuas —de hormigón armado, por ejemplo— con un espesor aproximado entre 4 y 10 cm, y luces medias que alcanzan los 30 m. Hacia 1946, los métodos de cálculo se encontraban todavía en pleno desarrollo, pero ya se habían presentado algunos ejemplos impresionantes de Eduardo Torroja y de una serie de empresas de Alemania y Francia. En México, Félix Candela había comenzado un trabajo que le condujo a las célebres cáscaras con forma de superficies regladas.[17]

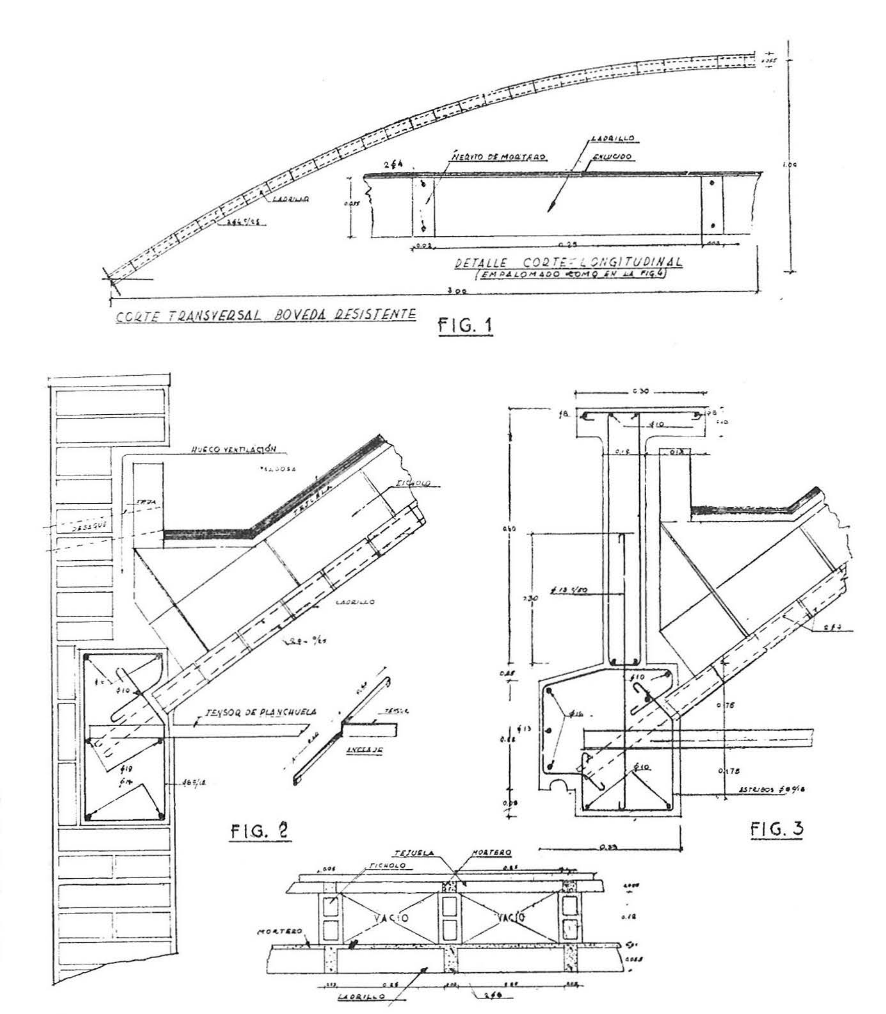


Figura 3
Detalles estructurales de la «cerámica armada» tal como se utilizó en la casa Berlingieri. Figuras 1–4 del artículo de Dieste «Bóveda nervada de ladrillos "de espejo"», *Revista de Ingeniería,* (septiembre de 1947): 511 (Archivo del autor)

La estructura de cubierta de la casa Berlingieri y su proceso de diseño

Según la información reunida para este artículo, en el proceso de proyecto de la casa Berlingieri se pueden distinguir las fases que se indican a continuación. Los subtítulos son descripciones de las distintas ideas, realizadas por el autor para expresar las tendencias del desarrollo del diseño.

Primera fase: la idea, con hormigón armado y forma de cañón cóncavo.

Bonet propuso a Dieste un diseño preliminar parecido a las casas de Martínez. Bonet estaba muy orgulloso del uso del hormigón armado en ese proyecto. Dieste tenía dudas sobre la forma de la estructura propuesta para el techo, que consistía en un cañón cóncavo con encuentros difíciles con los muros de carga y los pilares. Unos ingenieros de Buenos Aires habían calculado esta solución y obtuvieron como resultado una gran cantidad de armaduras. De manera espontánea, Dieste sugirió a Bonet una cubierta corriente de madera con tejas, que resultaba mucho más barata y mucho más «racional» desde el punto de vista de un ingeniero. Bonet debió de rechazar esta sugerencia de Dieste por considerarla un poco tosca o irónica, o incluso ignorante. Esto tal vez demuestra que por aquella época Dieste carecía de esa noción de poética que un arquitecto inspirado en el arte surrealista necesitaba expresar con urgencia en una obra para poder considerarla propia.

Segunda fase: la idea de las bóvedas tradicionales de ladrillo de Europa occidental

Dieste —que más tarde se convertiría en un prolífico proyectista de arquitectura— sugirió sinceramente a Bonet que, desde el punto de vista arquitectónico, la casa debería cubrirse con bóvedas de ladrillo. Después del rechazo de las caras y pesadas bóvedas de cañón (de medio pie de ladrillo, con unos 12 cm de espesor) a las que Bonet creía que Dieste se estaba refiriendo, ambos se pusieron de acuerdo en buscar una solución ligera y no tradicional a base de ladrillos.

Tercera y última fase: cáscaras de ladrillo armado o «cerámica armada».

Dieste sugirió a Bonet unas delgadas bóvedas de cañón hechas de ladrillo que, con algunas armaduras, se convertirían en cáscaras. Bonet le preguntó: «¿sería posible?»; y Dieste le contestó con optimismo: «creo que sí». La conversación continuó con una sucinta explicación por parte de Bonet acerca de las bóvedas tabicadas. Dieste nunca había oído hablar de ellas y sólo consiguió entenderlas años más tarde, cuando se las explicó un catalán que las había construido.

En el proyecto final —como lo presentó Dieste en el artículo «Bóveda nervada de ladrillos de "espejo"»[18]— puede observarse el asiento de plano de los ladrillos corrientes de 5 cm de espesor, en la misma posición que las rasillas de la bóvedas tabicadas, pero en una sola hoja en lugar de en tres (Fig. 3). El armado estaba formado por dos redondos de acero (de 4 mm de diámetro) situados en dos juntas transversales de 2 cm de grosor. La diferencia importante con la bóveda tabicada —es decir, la reducción a una sola hoja— fue posible gracias a que los ladrillos se aparejaron sobre una cimbra deslizante, lo que significó una racionalización importante del trabajo, ya que cada día se dejaba listo un metro y medio de sección gracias a dicha cimbra. Como forma óptima para la sección transversal de la bóveda se eligió la catenaria, ya que era la más adecuada para resistir los esfuerzos de compresión debidos al peso propio de la estructura. La forma era muy parecida a un arco escarzano debido a la relación entre la altura y la luz. Se- [redacted]

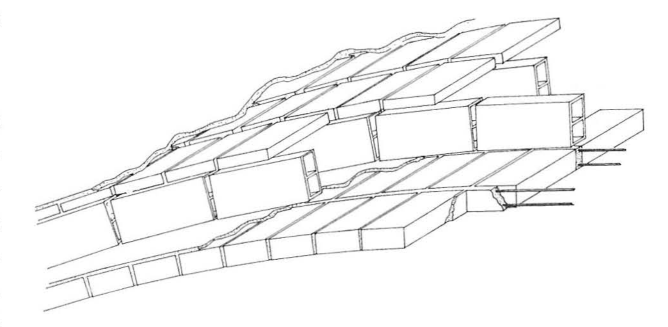
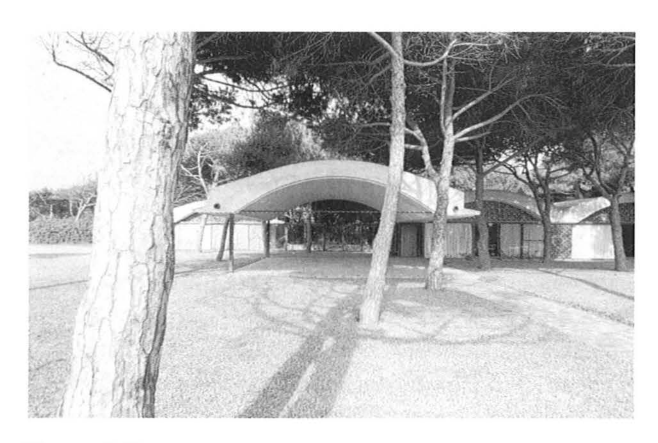
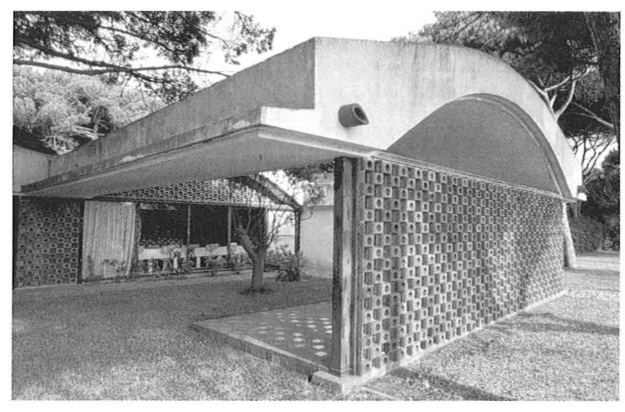


Figura 4
Interpretación de la estructura abovedada de la casa Berlingieri. (Jos Tomlow, Hochschule Zittau/Görlitz FH, Germany 2000)

ma que consideraba más apropiada era la catenaria, lo cual es una opción acertada, pues se basa en el principio de que la línea de empujes de un arco catenario de espesor constante —o, en este caso, de una bóveda— coincide con la línea media de la estructura. Por supuesto, sabía que diferentes condiciones de carga (viento) o unas cargas puntuales (reparaciones en el tejado, por ejemplo) podrían originar momentos flectores, debido a que la línea de empujes se saldría de la delgada sección de la bóveda. Como la propia bóveda es bastante ligera[20] —lo que reduce realmente el empuje sobre la estructura inferior de soporte—, incluso las fuerzas pequeñas, como una carga puntual de 100 kg, podrían ser peligrosas. La baja relación entre la altura y la luz (1/6) reducía la fuerza del viento a una magnitud despreciable. Y con [redacted]



Figuras 5–8
«La Ricarda» (Jos Tomlow, Hochschule Zittau/Görlitz FH, Alemania 2000)

Otro aspecto importante es la alta calidad de las rasillas catalanas, que también resisten tracciones bastante altas. En esta aproximación «semiingenieril» de Guastavino, también es importante que en el sistema de la bóveda tabicada intervienen al menos dos hojas, y mejor si son tres. Pero Dieste sólo contaba con ladrillos de 5 cm de espesor, y tanto él como Bonet se inclinaron por un envoltorio delgado y ligero (sólo aumentado por la cámara de aire), así que se decidieron por un grosor de una sola hoja. Si Dieste hubiese colocado un único redondo de acero en el punto medio de las juntas de mortero de la fábrica, la armadura apenas habría tenido efecto y no se habrían podido absorber los esfuerzos a flexión de la bóveda. Pero Dieste puso en cada junta de mortero dos redondos de acero separados 3 cm (uno cerca del trasdós y el otro hacia el intradós) que juntos resistían un pequeño momento flector.

Aunque Dieste me reveló que años más tarde consideró poco adecuada esta primera solución de la «cerámica armada», todavía pueden admirarse la sencillez y las buenas proporciones de los detalles.[22] El detalle que propuso para el encuentro de la bóveda con un muro pone de manifiesto un especial cuidado por el modo en que los empujes lineales de la bóveda se equilibran con los anclajes de los tirantes. Para ello, se colocó dentro del muro una viga continua de hormigón que transmitía la carga lineal del empuje de la bóveda a los tirantes. Especialmente interesante resulta el hecho de que esta viga de hormigón tiene su centro de gravedad en el encuentro de los dos ejes, el de la tangente a la bóveda en su extremo y el del tirante. De este modo se evitaba la torsión de la viga. Junto a los dibujos (Fig. 3), el artículo muestra una foto de las obras de la casa Berlingieri, en la que se ve esa bóveda desnuda, de una increíble ligereza y con el grosor de una sola hoja.[23]

Bonet y Dieste continuaron por separado con el nuevo tipo estructural

Dieste colaboró como ingeniero con Bonet sólo en uno o dos proyectos más. Después —especialmente cuando se publicaron las primeras críticas entusiastas sobre la casa Berlingieri— Bonet siguió experimentando con el sistema de bóvedas de cañón, ejecutadas bien como bóveda tabicada armada o bien de hormigón armado.

Incluso después de su vuelta a Barcelona, Bonet siguió cambiando el esquema. Durante una conversación sobre la historia de las bóvedas de la casa Berlingieri, Fernando Álvarez me señaló que Emilio Bofill escribió

una carta a Bonet en 1957 para sugerirle que cambiase la construcción de «La Ricarda»,[24] que iba a realizarse en hormigón, por la «solución de Dieste», a lo que Bonet contestó afirmativamente. La solución constructiva de «La Ricarda» muestra bóvedas de cañón con un módulo de 880 por 880 cm (Figs. 5–9).

En el citado artículo de 1947, Dieste informaba de este nuevo tipo estructural, y analizaba una solución para una luz de 10,5 m con un ligero aumento del armado y que incluía un armado longitudinal. También anunciaba un experimento con una bóveda de cañón de 12 m de luz (y 6 m de longitud), que tenía los mismos detalles constructivos que las bóvedas más pequeñas, y que se proponía ensayar in situ. Había nacido la «cerámica armada». Después de años de experimentos adicionales y de haber entendido los aspectos técnicos y las posibilidades de la combinación del ladrillo, las armaduras y una pequeña cantidad de cemento, Dieste desarrollaría una vasta producción de estructuras de todo tipo usando la «cerámica armada» (Figs. 10–13). Las luces de las cubiertas de las naves alcanzaron los 50 m, una luz enorme para el ladrillo y que habría sido impensable para los ingenieros de formación tradicional si Dieste no hubiese demostrado todos sus aspectos teórica y experimentalmente.

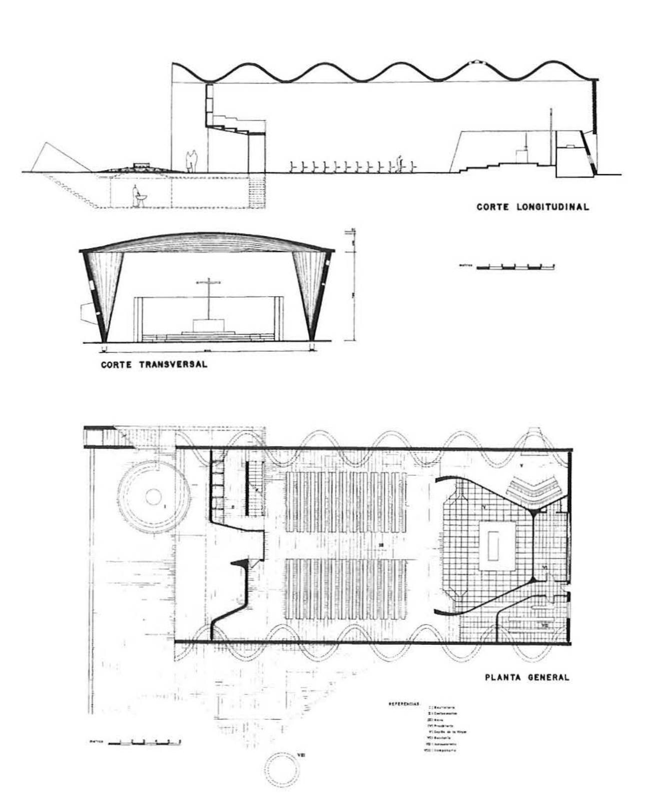


Figura 10
La obra más conocida de Eladio Dieste en «cerámica armada»: Iglesia de la Atlántida (1960), Uruguay. Planta y secciones. (E. Dieste, *Eladio Dieste 1943–1996*, 1998)

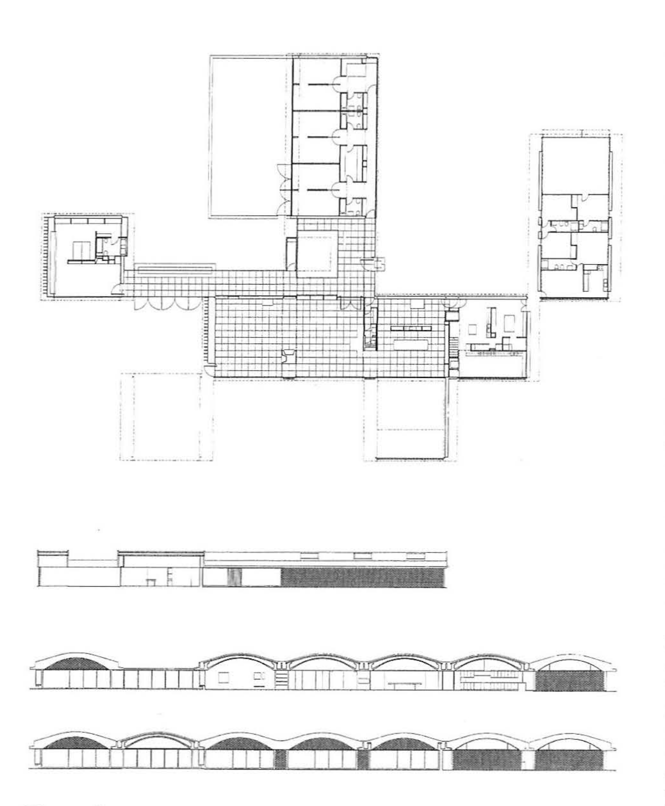


Figura 9
A. Bonet Castellana, «La Ricarda» (1949, 1953–1962), Barcelona. Planta y secciones

Distintos puntos de vista sobre el impacto histórico de la casa Berlingieri

Este artículo debería incluir un estudio de los distintos puntos de vista de las dos personas que participaron en el sistema abovedado de la casa Berlingieri. De las diferencias de opinión entre Bonet y Dieste sobre su trabajo en común hay algunas que son objetivas, pero otras son más discutibles. Puede encontrarse una diferencia objetiva entre las descripciones que hicieron Bonet y Dieste del sistema de cubierta recién inventado. Mientras que Bonet lo describía como un renacimiento de la bóveda tabicada, Dieste evitaba —al menos en los últimos años— la definición «bóveda tabicada» con una precisión de ingeniero, ya que una bóveda sólo resiste esfuerzos de compresión y la estructura de la casa Berlingieri es capaz de resistir esfuerzos de flexión gracias a su armado, igual que una cáscara de hormigón o de madera.[25] De ahí que Dieste hablase de «cerámica armada». Más discutible fue la actitud de Bonet acerca de la autoría de la casa Berlingieri.[26] Mientras que en los últimos tiempos Bonet —que estaba muy interesado en los aspectos técnicos— mencionaba con frecuencia al ingeniero responsable de sus proyectos, en sus escritos consultados no aparece el nombre de Eladio Dieste.

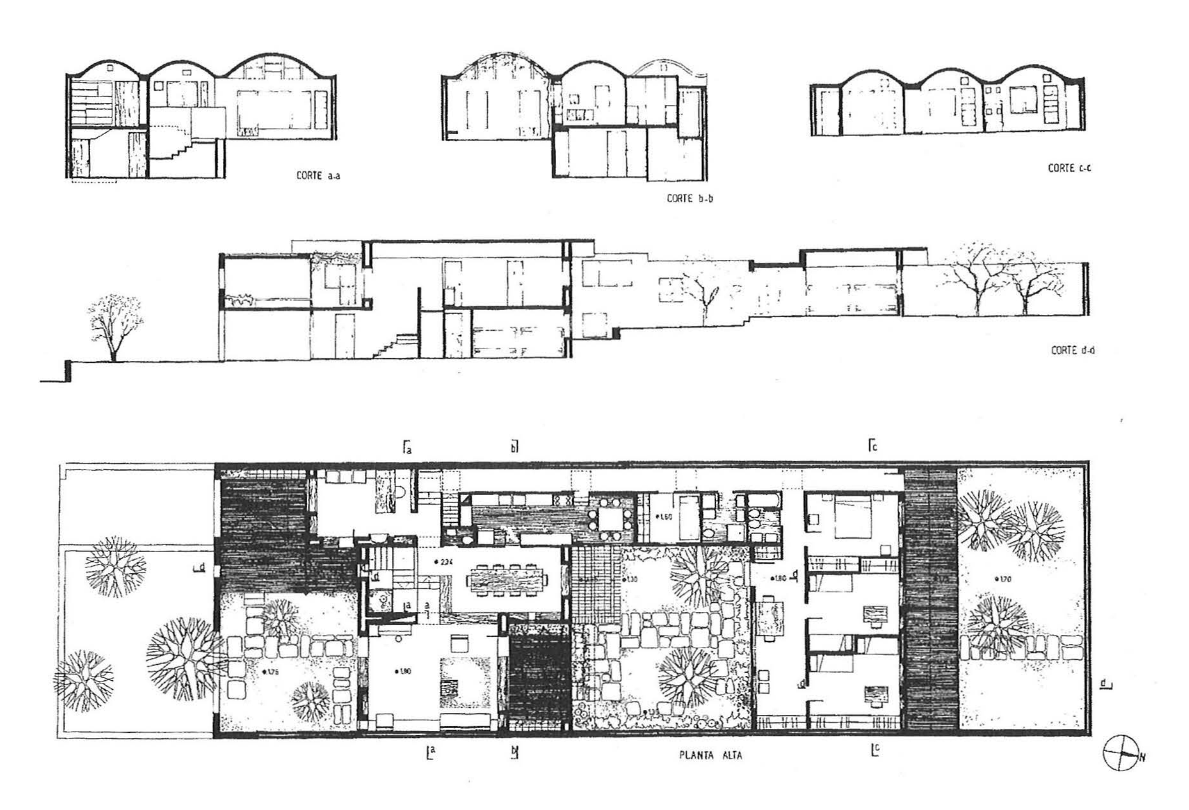


Figura 11
E. Dieste, casa Dieste (1968), Montevideo, Uruguay. Planta y secciones. (Ibid.)

Conclusión

Este artículo trata del desarrollo de una nueva técnica en base a ciertos datos históricos bastante sencillos.

Como se sabe de otros ingenieros y arquitectos con capacidad inventiva —como Antoni Gaudí, los Guastavino o Félix Candela, por ejemplo—, el salto histórico hacia un nuevo sistema estructural puede ser muy difícil. El problema va mucho más allá de la limitada inteligencia de los seres humanos implicados en la creación.

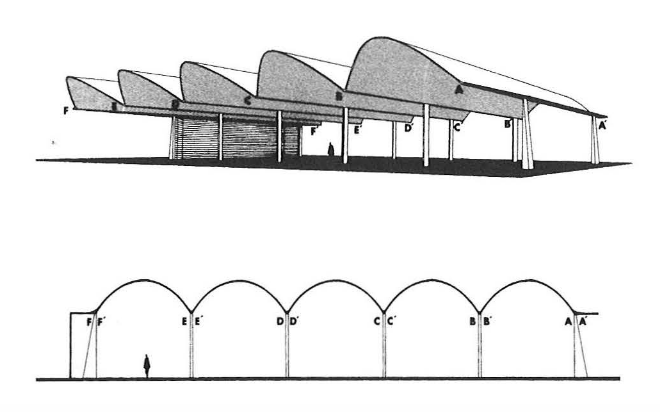


Figura 12
E. Dieste, perspectiva de una cáscara autoportante y sección entre los pilares. (Ibid.)

A menudo, las investigaciones teóricas necesarias para preparar tal creación han durado años. Como se puede ver en este caso —en el que Bonet y Dieste discutieron mucho tiempo antes de poder siquiera entender las ideas del otro—, la comunicación es una cuestión muy importante. La comunicación se convierte en un auténtico reto no sólo por las dos disciplinas implicadas (la arquitectura y la ingeniería civil), sino también por tratarse de dos culturas distintas (la catalana y la uruguaya) con tradiciones lingüísticas específicas, y también por la diferencia de carácter de esas dos extraordinarias personalidades. Otra cuestión radica en el tipo de proyecto, que tiene que adaptarse perfectamente a los requerimientos experimentales de la invención: la economía, el tiempo, la calidad del material, el nivel técnico de la empresa constructora, las condiciones climáticas, etcétera. Los proyectos experimentales también pueden verse frustrados por la sociedad, que —muchas veces sin ningún conocimiento específico sobre lo que está sucediendo— tiende a adoptar una postura conservadora con respecto a las novedades. En tal caso, una cuidadosa información por parte de la prensa y una extensa publicación de los resultados pueden ser importantes. Bonet informó con profusión sobre la idea del centro turístico de Punta Ballena y las casas que se construyeron allí, y Dieste siempre estaba dispuesto a explicar la «cerámica armada» al público y a sus colegas.

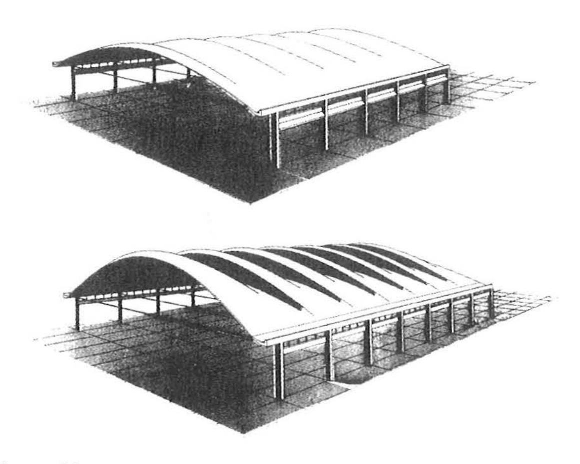


Figura 13
E. Dieste, dos tipos de bóvedas gaussianas. La de la cobertura de la nave se ha construido muchas veces y ha competido económicamente con todos los demás sistemas estructurales. Su luz máxima es de 50 m (Ibid.)

Dieste ofreció a un mundo atónito todo un abanico de motivos racionales por los cuales la «cerámica armada» podía competir con el hormigón armado.[27] Hemos de esperar que, en el futuro, los jóvenes entusiastas que crean firmemente en las concepciones desarrolladas por ellos mismos, en su intuición y en sus ideas, luchen sin miedo con los «siempre ignorantes», a pesar de las molestias que pueda producirles el aislamiento temporal. El resultado será bueno para todos. Puede que eso, finalmente, consuele a los creadores.

Agradecimientos

Durante la larga investigación realizada para este artículo, el autor quedó impresionado por esa compleja mezcla de auténtica intención arquitectónica, gran economía y brillante planteamiento estructural de este método constructivo. Este artículo se inspira en todos los aspectos de la «cerámica armada», aunque se centra principalmente en su dimensión técnica. El estudio se integró en el tema «Historia del diseño estructural», dirigido por Ekkehard Ramm, dentro del proyecto de investigación especial SFB 230 «Construcciones naturales» de la Universidad de Stuttgart, y actualmente se sigue investigando en la Hochschule Zittau/Görlitz FH, en Zittau. El autor consultó el archivo de Bonet en el Colegio de Arquitectos de Barcelona. También fueron de gran ayuda la Cátedra Gaudí y Juan Bassegoda Nonell. Fernando Álvarez aportó algunas interpretaciones adicionales a la escasa información existente sobre la casa Berlingieri. Junto con Jan Molema, la información sobre Guastavino se recopiló como parte de nuestra investigación sobre Gaudí. En 1985, el autor conoció a George R. Collins cuando hablaba sobre su tema favorito (Guastavino) en Washington. María M. Gomis Bertrand me enseñó amablemente la hermosa casa «La Ricarda», que Bonet Castellana construyó para sus padres. El autor coincidió dos veces con Eladio Dieste: durante su conferencia en la Universidad de Stuttgart (1994) y en un coloquio de estudiantes en Coblenza, organizado en 1992 por Karl-Ludwig Diehl, estudioso de la obra de Dieste. El autor agradece la información adicional sobre Dieste a Diehl y al ingeniero holandés Annemiek van Dijk. Esta investigación se completó gracias a la detallada correspondencia mantenida con Dieste durante 1995.

Apéndice documental

«Bóveda Nervada de Ladrillos "de espejo"», por el Ingeniero Eladio Dieste

Una solución para techos que puede ser técnicamente interesante por su facilidad de ejecución y su economía, es la que llamo, por lo menos provisoriamente, con el título de esta nota.

En la construcción tradicional de bóvedas de mampostería, la necesidad de hacer que para todas las hipótesis de carga la línea de presiones sea tal que las verificaciones de las distintas secciones a la preso-flexión den valores menores que la tensión admisible, obliga a aumentar los espesores, con lo que se tienen varios inconvenientes: gasto grande de material, grandes empujes, etcétera. Una solución muy interesante de que tengo noticia es la que constituyen las bóvedas «a la catalana», construidas también con ladrillos «de espejo». Se me ha informado que en nuestro país se han construido por artesanos catalanes y de esta manera cúpulas de gran luz, pero en lo que se refiere a bóvedas de cañón (cilíndricas), no sé que se haya ido a luces mayores de 4 m.

El sistema constructivo que quiero describir aquí consiste en disponer en el sentido de la directriz de la superficie cilíndrica de bóveda y cada $\approx$ 25 cm (o sea, entre ladrillo y ladrillo), un pequeño nervio de mortero de arena y portland con una armadura de dos varillas de acero. En el caso en que la bóveda descargue en muros de mampostería, ésta lleva la componente vertical de los esfuerzos en los arranques, trasmitida por una carrera de hormigón armado que absorbe además los empujes, trabajando como viga sometida a esfuerzos horizontales entre apoyos constituidos por tensores. En el caso en que el apoyo de la bóveda deba salvar vanos, dicho apoyo debe dimensionarse como viga soportando las dos componentes, vertical y horizontal, de la reacción total en el apoyo.

Las solicitaciones que deben tenerse en cuenta son el peso propio y la posible carga accidental. Se ha demostrado que el viento produce succiones en las bóvedas rebajadas y que la entidad de éstas no es importante frente al peso propio. Si bien es cierto que estas succiones no son uniformes en todo el ancho de la bóveda, son pequeñas las disimetrías de carga que producen.

En los casos que hemos tenido que encarar, era constante el peso por m^2 de superficie de bóveda, o sea que la línea de presiones coincidirá con la directriz media de la bóveda si hacemos que ésta sea una catenaria. Con esto y para el peso propio todas las secciones trabajarán a la compresión simple.

Como carga accidental se consideró una concentrada móvil de 100 kg. Es de notar que en las bóvedas cascara no se es-

tudia la acción de las cargas concentradas. Es intuitivo que una carga concentrada se ha de repartir en una gran longitud de bóveda, pero es incierto el establecer cuál pueda ser esa longitud. Como se verá al final de esta nota, nos proponemos realizar experiencias sobre este problema.

Pasamos ahora a detallar los casos en que hemos aplicado esta solución.

Fue estudiada por primera vez, como estructura de techos para una casa, proyecto del Arqto. español Antonio Bonet, actualmente en construcción en Punta Ballena.

La casa presentaba como ambientes a techar (techos que se preveían en bóveda en el proyecto arquitectónico), uno de 6 m de luz aproximadamente. Todos se resolvieron con las bóvedas descriptas, disponiendo en los nervios de 2 cm de espesor 2 alambres de 4 mm como se ve en la figura 1 (Fig. 3). Las cargas consideradas producían tensiones muy bajas, siendo las mayores las debidas a la carga concentrada, poco importantes, sin embargo, aun con hipótesis particularmente severas en lo que se refiere a la longitud de bóveda afectada. Esto nos decidió a admitir la construcción sin ninguna experiencia previa.

La flecha era 1/6 de la luz. El techo se terminó con el empalomado que indican los detalles, buscándose con ello una buena aislación térmica.

En el caso de que el techo descargaba en muros llenos la solución de apoyo fue la de la figura 2 (Fig. 3). El eje de la bóveda pasa por el centro de gravedad de la carrera de apoyo. Los tensores se dispusieron cada tres metros en el caso de bóveda de 6 m de luz.

En los casos en que fue necesario salvar un vano con el apoyo, se fue a la solución de la figura 3 (Fig. 3). Consiste en disponer dos vigas que pueden absorber independientemente los dos esfuerzos: una ligada a los tensores que resiste los empujes, colgada de otra que lleva la componente vertical de la reacción de la bóveda y el peso propio de ambas.

Para la construcción se usó una cimbra de 1,50 m de longitud que se movía a mano sobre tres tirantes longitudinales, dos en los arranques y uno en el eje. En una jornada se construían 1,50 m de bóveda, corriéndose la cimbra al día siguiente. La construcción fue muy sencilla y se puede adelantar que el costo del m^2 de bóveda es muy bajo. Esperamos dar datos más precisos de este costo en un próximo artículo.

La estructura terminada es de una gran rigidez.

Por segunda vez fue aplicada esta solución para un proyecto, salvando una luz entre ejes de muros de 10,50 m. En este caso el corte longitudinal de la bóveda resistente aparece en la figura 4 (Fig. 3). Los nervios son de 3 cm, se agrega un enlucido de mortero de 1 cm y la armadura de 2 ø 6. Se dispone además longitudinalmente y cada dos ladrillos ≈ 25 cm 1 ø 6 longitudinal. La flecha es 1/6 de la luz.

Se estudió también el efecto de una carga concentrada de 100 kg que se supuso repartida en una longitud de 1 m de bóveda. Se hicieron muchos análisis e hipótesis para el dimensionado, llegándose en todos los casos a tensiones muy por debajo de las admisibles. Los tensores de planchuela de 1 x 8 cm se dispusieron en este caso cada 5 m resultando la carrera de descarga de 50 cm de altura por 35 cm de ancho.

La incertidumbre en lo que respecta a la longitud de bóveda afectada por la carga concentrada y al comportamiento de aquella frente a ésta, nos ha llevado a plantear un ensayo que haremos con una bóveda de 12 m de luz y 6 m de longitud e igual en sus dimensiones (armadura, enlucido superior, etc.), a la últimamente descripta. Los resultados de este ensayo se consignarán en nuestra próxima nota.

Notas

1. Fuentes de las obras de Bonet Castellana: F. Álvarez et al., *Antonio Bonet y el Río de la Plata*, Barcelona, 1987; F. Álvarez, F. Pich-Aguilera y J. Roig, *Antoni Bonet, la Ricarda*, Barcelona, 1996; F. Álvarez y J. Roig, *Antoni Bonet Castellana 1913–1989*, Barcelona, 1996; E. Katzenstein et al., *Antonio Bonet: arquitectura y urbanismo en el Río de la Plata y España*, Buenos Aires, 1985.
2. Libros sobre Eladio Dieste: D. Bayón y P. Casparini, *Panorámica de la arquitectura latinoamericana*, Editorial Blume/UNESCO, 1977, 177–197; K.-L. Diehl, «Bewehrt und Eigenwillig: der Ziegelbau des Eladio Dieste in Uruguay», *Bauwelt* (11/1992): 546–561; E. Dieste, *La estructura cerámica*, Bogotá, 1987; E. Dieste, *Pandeo de láminas de doble curvatura*, Montevideo, 1970, 1985, 1994; E. Dieste, *Cáscaras autoportantes de directriz catenaria sin tímpanos*, Montevideo, 1983, 1994; E. Dieste, *Eladio Dieste 1943-1996*, catálogo de la exposición, Junta de Andalucía, Sevilla, 1998.
3. F. Álvarez et al.: *Antonio Bonet y el Río de la Plata*, 78–83; F. Álvarez y J. Roig, *Antoni Bonet Castellana 1913–1989*, 104–109. E. Katzenstein et al.: *Antonio Bonet*, 51–56.
4. J. Bayó, «La bóveda tabicada», *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña y Baleares* (1910); J. Doménech y Estapá, *La geometría proyectiva en el arte arquitectónico*, discurso leído en el acto de ingreso en la Real Academia de Ciencias Naturales y Artes de Barcelona, Barcelona, 1883; J. Doménech y Estapá, «La fábrica de ladrillo en la construcción catalana», *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña y Baleares* (1900): 37–48; J. Martorell, «Estructuras de ladrillo y hierro atirantado en la arquitectura catalana moderna», *Anuario Asociación de Arquitectos de Cataluña y Baleares* (1910): 119–146; J. Rubió Bellver, «Dificultats per arribar a la síntessis arquitectònica», *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña y Baleares* (1913): 63–79. Una publicación anterior importante que muestra los arcos catenarios en la construcción de escaleras es el libro de M. Fornés y Gurrea, *El arte de edificar* (compuesto de «Observaciones sobre la práctica del arte de edificar las cuales seguidas por las Ordenanzas de Madrid, 1857» y «Álbum de proyectos originales de arquitectura, 1846», introducción de A. Bonet Correa), Madrid, 1982.
5. G. R. Collins, «The Transfer of Thin Masonry Vaulting from Spain to America», *Journal of the Society of Architectural Historians,* 27 (octubre 1968): 176–201; J. Molema, «Vault structures by Rafael Guastavino Moreno (1842–1908) and the traditional Catalan vault», en *Geschichte des Konstruierens* V, *Wölbkonstruktionen der Gotik* 2, Universidad de Stuttgart, Konzepte SFB 230 Heft

38, 1992, 140–154; J. Parks y A. G. Neumann, *The Old World Builds the New: The Guastavino Company an the Technology of the Catalan Vault, 1885–1962,* Nueva York, 1996.

6. Una de las razones del éxito de las bóvedas de Guastavino fue su resistencia al fuego. Como indicaba Collins, los arquitectos franceses como Pierre Patte y Jean-Baptiste Rondelet —que abogaron por la introducción del sistema de la bóveda tabicada (a la catalana) en Francia en torno a 1800— hicieron esta misma observación. Véase también R. Gulli y G. Mochi, *Bóvedas tabicadas: architettura e costruzione*, Roma, 1995, 37 y ss.; y J. L. González Moreno-Navarro, *El legado oculto de Vitruvio*, Madrid, 1993.
7. Amable comentario de Juan Bassegoda Nonell. Véase, por ejemplo, F. Cardellach Alives, *Filosofía de las estructuras* (1910), Barcelona, 1970.
8. La importancia de Gaudí como inspirador del uso de la bóveda tabicada en el contexto moderno puede juzgarse a partir de las publicaciones sobre él realizadas por arquitectos modernos: A. Bonet Castellana, *Antonio Gaudí*, Talleres Gráficos Torfano, Buenos Aires, junio de 1960; Le Corbusier: *Gaudí,* fotografías de Joaquim Gomis, Ediciones Polígrafa, 1957; y más importante aún, J. J. Sweeney y J. L. Sert, *Antoni Gaudí*, Stuttgart, 1960.
9. J. Molema, *Antonio Gaudí, un camino hacia la originalidad*, Torrelavega, 1992. J. Tomlow, *Das Modell: Antoni Gaudís Hängemodell und seine Rekonstruktion, neue Erkentnisse zum Entwurf für die Kirche der Colonia Güell*, tesis doctoral en alemán, español e inglés, Mitteilungen des Instituts für leichte Flächentragwerke (IL), nº 34, Stuttgart, 1989; J. Tomlow, «The Colonia Güell Church between the franciscan Mission post in Tangier and the Sagrada Familia Designs after 1915», *Circular del Centre de Estudis Gaudinistes*, Barcelona, nº 3, (julio de 1996): 1–5.
10. Hay una bibliografía reciente y descripciones de varios aspectos de la bóveda tabicada en R. Gulli y G. Mochi, *Bóvedas tabicadas*.
11. La mayoría de estos hechos se analizan en F. Marzá (dir.), *Le Corbusier y Barcelona*, catálogo de la exposición, Fundació Caixa de Catalunya, Barcelona, 1988.
12. Véase L. Moya Blanco, *Bóvedas tabicadas*, Dirección General de Arquitectura, Madrid, 1947. Más publicaciones sobre la naturaleza técnica: B. Bassegoda Musté, «La bóveda catalana (1949)», *Algunos ensayos sobre técnica edificatoria*, Barcelona, 1974, 128–151; I. Bosch Reitg, «La bóveda vaída tabicada», *Revista Nacional de Arquitectura*, Madrid, 9 (5/1949): 185–199; J. Goday, «Estudi històric i mètodes de càlcul de les voltes de maó de pla: acta de la sessió pública que tingué lloc el dia 23 d'abril del 1934», en *Acadèmia catalana de Belles Arts de Sant Jordi*, Barcelona, 1934, 11–36, 43–51; A. I. Pereda, *Bóvedas tabicadas: cálculos y ejemplos resueltos*, Editorial Cantabria, Santander, 1951.
13. Las obras citadas de Francisco de Asís Cabrero se describen en J. Climent Ortiz, *Francisco Cabrero, arquitecto. 1929–1978*, Madrid, 1979; y C. Flores, *Arquitectura española contemporánea I*, (1961), Madrid, 1989, 241 y ss.
14. C. Flores, *Arquitectura española contemporánea I*, 245. Alexandre Cirici analiza la posición de la arquitectura dentro de la política cultural del régimen conservador de Franco en A. Cirici, *La estética del franquismo*, Barcelona, 1977.
15. Compárese el texto y las ilustraciones en F. Álvarez y J. Roig, *Antoni Bonet Castellana 1913–1989*, 72–73.
16. F. Álvarez y J. Roig, *Antoni Bonet Castellana 1913–1989*, 80–84; y E. Katzenstein et al., *Antonio Bonet*, 29–32.
17. Compárese con J. Tomlow, «"Ich zähle nur auf meine Zahlen:" Ein Interview mit Félix Candela über die historischen Hintergründe seiner Werke», *Deutsche Bauzeitung*, 126, (año 8/agosto 1992): 72–81.
18. «Bóveda nervada de ladrillos "de espejo"», *Revista de Ingeniería*, 473 (septiembre 1947): 510–512. Aparece como autor «el ingeniero Eladio Dieste». Véase apéndice documental.
19. Los planos publicados en los libros sobre Bonet difieren ligeramente en su escala. Según el plano de la casa Berlingieri que aparece en F. Álvarez et al., *Antonio Bonet y el Río de la Plata*, 79, la luz de la estructura inferior de las bóvedas es aproximadamente de 6 m para la sala de estar y de 4,6 m para las habitaciones más pequeñas.
20. El peso aproximado de la bóveda es de 170 kg/m², proyectado sobre el plano horizontal.
21. R. Guastavino, *Essay on the theory and history of Cohesive Construction, applied especially to the timbrel vault*, Ticknor and Co., Boston, 1893. Véase también J. Molema, «Vault structures by Rafael Guastavino Moreno (1842–1908) and the traditional Catalan vault», en *Geschichte des Konstruierens* V, *Wölbkonstruktionen der Gotik* 2, Universidad de Stuttgart, Konzepte SFB 230 Heft 38, 1992, 140–154.
22. Dieste, en un fax que me envió el 24–2–1995, escribió las palabras «mala solución» junto a la figura 4 (Fig. 3). Con la afirmación «ésta es la solución de un ingeniero joven, ingenua y torpe», comentaba con ironía su idea de construir una viga de hormigón formada por dos partes que debían ocuparse por separado de las fuerzas verticales (el peso de la bóveda) y de los esfuerzos horizontales del empuje, como se muestra en su figura 3 (Fig. 3).
23. El texto de la ilustración: «Vista de una de las bóvedas terminada».
24. Aparece una descripción detallada en F. Álvarez, F. Pich-Aguilera y J. Roig, *Antoni Bonet: la Ricarda*.
25. Nótese que el término de Guastavino «sistema cohesivo» no es una categoría para Dieste. Sin embargo, la compañía de Guastavino consideraba, igual que Dieste, que el armado podía hacer que el cálculo de las bóvedas fuese más fácil y seguro. Rafael Guastavino Expósito patentó el uso de «varillas metálicas de refuerzo». (Datos suministrados amablemente por Santiago Huerta).
26. Dieste, en su artículo de 1947, se refiere a la casa Berlingieri con las siguientes palabras: «Fue estudiada por primera vez como estructura de techos para una casa en el proyecto del arquitecto español Antonio Bonet; actualmente está en construcción en Punta Ballena». Una foto de la bóveda en construcción y el detalle (Fig. 3) permiten identificar la casa.
27. Dieste resume en 11 puntos las virtudes de las cáscaras de ladrillo. Véase E. Dieste, *Eladio Dieste 1943–1996*, 35–36.

Los orígenes valencianos en la obra de Guastavino

Fernando Vegas

Infancia y juventud de Rafael Guastavino en Valencia

La *Memoria para el Ensanche de Valencia* (1858) escrita por los arquitectos Sebastián Monleón, Timoteo Calvo y Antonino Sancho, primer intento razonado de planificación del crecimiento de la ciudad de Valencia, resume en su introducción el ambiente en el que transcurrieron los años de infancia y juventud del arquitecto Rafael Guastavino, que vivió en la ciudad de Valencia desde su nacimiento, en 1842, hasta su traslado a Barcelona en 1861. En este preámbulo, se realiza un sumario del rápido desarrollo urbanístico e industrial de la ciudad cuyo inicio se situaba, según los autores de la memoria, en el mismo año 1842.

La desamortización de Mendizábal (1835) trajo consigo la demolición de una docena de conventos del centro histórico de la ciudad que tuvo lugar durante los años cuarenta y cincuenta del siglo, y la consiguiente liberación de nuevos espacios en una urbe de edificación apretada y calles angostas. El Diccionario Geográfico y Estadístico de Madoz de 1849 sumaba un total de 46 conventos desamortizados, de los cuales 27 eran intramuros.[2] Durante estos años, la presencia de alcaldes dinámicos al frente del Ayuntamiento de Valencia, como fue el caso de José Campo, que accedió al cargo con 28 años de edad, o de José Peris y Valero, desencadenó un reguero de obras públicas de mejora y embellecimiento de la ciudad,[3] entre las cuales se pueden señalar: el cierre de numerosos *atzucacs* y la apertura de nuevas calles, plazas y jardines (calles Conquista, Rey Don Jaime, Moro Zeit, la Plaza Redonda, el Ensanche de Zaidia, vallado del jardín de la Glorieta); el pavimentado de las calles más importantes (Zaragoza, San Vicente, San Fernando...); la instalación de fuentes públicas (Fuente del Mercado, 1852; Fuente de las Cuatro Estaciones, 1861); la implantación del alumbrado a gas (1843); y la erección de edificios recreativos (Teatro Princesa, 1853; Teatro Principal, 1854; Plaza de Toros, 1859) o de importantes infraestructuras de tecnología avanzada para la época (la formación de la Sociedad Valenciana de Conducción de Aguas Potables, 1846; la línea de ferrocarril Valencia-Grao, 1852; la construcción del dique de Levante y el contradique de Poniente del Puerto de Valencia, 1852, y la gran bóveda de hierro y cristal que erigió el arquitecto Monleón para el Jardín Botánico,[4] 1859).

La transformación sufrida por la ciudad durante estas dos décadas tuvo la envergadura suficiente para despertar la conciencia de cambio en los arquitectos redactores de esta memoria de ensanche, e incluso datar el arranque de los nuevos tiempos en una fecha concreta. Rafael Guastavino vivió sus primeros años en una ciudad que estaba permanentemente en obras, bien fuera por la demolición de algún convento céntrico desamortizado, o incluso la antigua Casa de la Ciudad después de su incendio en 1859, bien por la urbanización o la construcción de grandes edificios e infraestructuras que estaban operando una revolución dentro de la urbe. Doble sorpresa para propios y extraños era este desarrollo impetuoso en una ciudad que entonces era conocida debido a su fama de levantisca y pendenciera, por la frecuencia de sus reyertas y asesinatos, cometidos al amparo de su intrincado y oscuro trazado urbano.

Sabemos, por su certificado bautismal,[5] que Rafael Guastavino Moreno vio la luz el día 1 de marzo de 1842. Su padre, Rafael Guastavino Buch, era «fuster de fi» o ebanista de profesión y provenía de Barcelona, donde había nacido en el seno de una familia de ocho hermanos que tuvieron a su vez descendencia. Su abuelo paterno, Carlo Davide Giuseppe Guastavino, nacido en Varazze (Liguria) en 1780, emigrado a la ciudad condal en 1798, se había casado con la catalana Mª Josefa

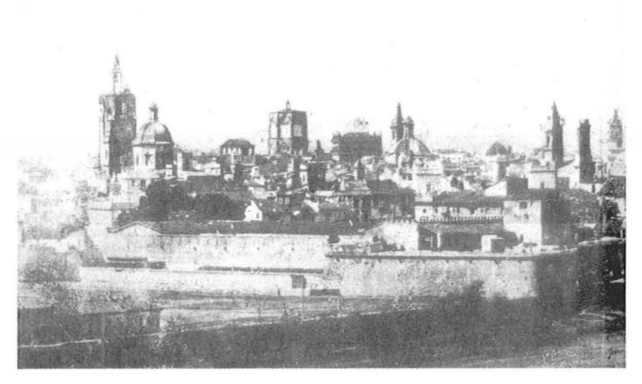


Figura 1
Imagen de Valencia en torno al año 1860 (Archivo Seminario Metropolitano, Valencia)

Buch y fue constructor de pianos de profesión hasta que le sobrevino la muerte en la ciudad de Madrid.[6]

En la profesión del abuelo y en la tradición musical de la provincia de Valencia, donde durante el siglo XIX surgieron las bandas de música municipales a partir de las bandas de la Milicia Nacional, se encuentra la base de la melomanía de Rafael Guastavino, que tocaba el violín en su juventud y, en un principio, quiso ser intérprete profesional. Trazas de esta sensibilidad por la música se pueden detectar en las virtudes acústicas de sus bóvedas y cúpulas y, sobre todo, en su búsqueda personal de ladrillos con características especiales de absorción o aislamiento acústico, como es el caso de las patentes que registró del ladrillo Akoustoulith o de la plaqueta acústica Rumford. La composición y el acabado superficial de ambas piezas cerámicas, producidas en las fábricas de Guastavino estaban pensados para mejorar las condiciones acústicas de sus espacios abovedados. Además, en sus escritos realiza comparaciones entre la arquitectura y la música, desde el momento en que ambas necesitan tanto del artista como de los ejecutantes, al tiempo que apunta el carácter téorico y práctico presente en las dos disciplinas.[7]

Por la otra línea, su madre, Pascuala Moreno, provenía de un municipio de Castellón al sur de Peñíscola llamado Torreblanca, así como sus dos abuelos maternos Manuel Moreno y María Josefa Ebri o Esfrau, según las fuentes.[8] Rafael fue el cuarto de catorce hijos, de los cuales sobrevivieron cinco: Antonio y José optaron por la carrera religiosa, mientras que Carlos y Juana se casaron y tuvieron una descendencia que desempeñó un papel importante en su relación posterior en Estados Unidos con la ciudad de Valencia.[9]

Rafael comenzó su actividad en Valencia como dibujante en un despacho a raíz de la recomendación de un personaje de la época llamado José Nadal, con el cual probablemente estaba emparentado por línea materna y que era miembro de la Sociedad Económica de Amigos del País de Valencia, foro de encuentro de muchos protagonistas de esta investigación, como veremos posteriormente.[10] Desconocemos los datos concretos de este primer contacto con la actividad profesional en la ciudad de Valencia, pero podemos suponer que su trabajo estaba seguramente vinculado al impulso renovador de la construcción que estaba transformando en estos momentos la ciudad. La muerte de José Nadal desencadenó su decisión de emigrar a Barcelona para realizar sus estudios, donde se alojó en casa de su tío Antonio Guastavino,[11] y donde poseía un gran número de parientes descendientes de su abuelo materno. Su tío Antonio poseía en la ciudad condal unos talleres industriales de confección textil llamados «El Águila»[12] donde seguramente adquirió la experiencia y los conocimientos de este campo necesarios para la construcción, en 1866, de su famosa fábrica textil de los Hermanos Batlló.

Especial importancia posee, a nuestro juicio, el hecho de que la familia materna del arquitecto proviniera de la zona de Torreblanca. Muchos municipios de la provincia de Castellón se caracterizan todavía en nuestros días por la tradición ininterrumpida de utilización de la bóveda tabicada en construcciones domésticas, principalmente en la elaboración de forjados y rampas de escalera. Esta costumbre parece haberse abandonado en la provincia de Valencia, pero todavía está muy presente en la de Castellón; por ejemplo, en la construcción de rampas de escalera.

Pero el área de Torreblanca posee interesantes ejemplos de arquitectura vernácula donde se utiliza la bóveda tabicada para cubrir luces de hasta seis metros. Se trata de las llamadas «casetes de volta» o casitas de bóveda, construcciones sencillas de planta rectangular de muros de mampostería y espacio interior único con altillo de dormitorio, que están cubiertas por una bóveda de cañón ejecutada con dos vueltas de rasilla cerámica sin ayuda de cimbra. Curiosamente, existe la costumbre de blanquear las paredes internas y externas, pero nunca se enjabelga la bóveda, cuya construcción de rasillas aparejadas queda a la vista, tal y como a menudo dejaba el intradós de sus bóvedas Guastavino. En la actualidad, se conservan todavía ejemplos dispersos de estas casas en algunas zonas del Alt y Baix Maestrat y el Pla d'Albalat; por ejemplo, junto a Torreblanca, en las Cuevas de Vinromá, y a lo largo del Camino Real entre Peñíscola y Benicarló.[13]

Rafael Guastavino debió conocer probablemente estas construcciones populares en el pueblo de su abuela materna —a quien llegó a tratar y que incluso fue su madrina de bautizo— en cualquiera de las visitas que, eventualmente, realizó por necesidad a una localidad donde residía el conjunto de la familia de su madre. Además, había sido testigo de la demolición de un buen

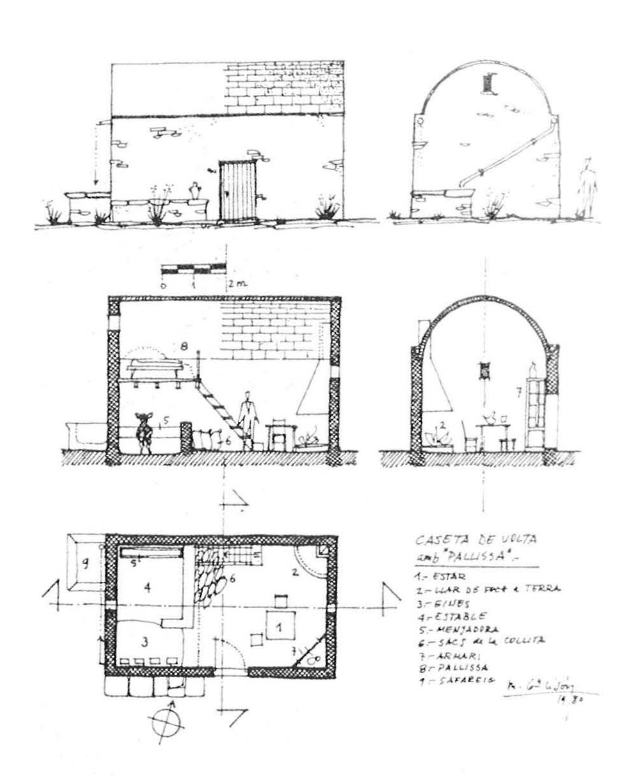


Figura 2
Casetes de volta o «casitas de bóveda» típicas de la arquitectura vernacular de ciertas zonas de Castellón (dibujo de M.García Lisón. Archivo Arturo Zaragozá)

número de conventos y templos en la ciudad de Valencia, muchos de los cuales poseían grandes ejemplos de bóvedas tabicadas en naves y plementerías de las construcciones y reformas del siglo XVII y en las cúpulas de altares y capillas de la comunión,[14] demoliciones cuyos entresijos constituían magníficas lecciones de construcción para un espíritu inquieto.

Igualmente cabría recordar que, en el periodo en que Rafael Guastavino vivió en Valencia, se publicó en esta ciudad el tratado *Observaciones sobre la práctica del arte de edificar*, en el que se detallaba con precisión el procedimiento para la construcción de bóvedas tabicadas para diversos fines. Su autor, Manuel Fornés y Gurrea (1777–1856), fue un arquitecto valenciano miembro de la Academia de San Carlos, de la que fue profesor en la asignatura «Construcción y práctica de la arquitectura», y donde llegó a ocupar el cargo de Director de Arquitectura desde 1836 hasta su muerte acaecida en la ciudad de Valencia. Manuel Fornés también fue socio de mérito de la Real Sociedad Económica de Amigos del País de Valencia desde 1815 hasta su fallecimiento. El libro, dirigido principalmente a maestros de obras y alarifes, se publicó por primera vez en Valencia en 1841 y fue objeto de dos reediciones posteriores en la misma ciudad, la segunda en 1856 y la tercera en 1872.[15]

El tratado aborda la construcción con bóveda tabicada de forjados de revoltón, rampas de escaleras de tramos lineales y de caracol; pandas de claustros; pechinas, bóvedas de cañón seguido con lunetos; bóvedas de cúpulas y linternas circulares o elípticas, rebajadas o peraltadas; y además, aporta especificaciones para la erección de bóvedas tabicadas sobre plantas complejas como rectángulos, trapecios, triángulos... En definitiva, toda la variedad de soluciones que, posteriormente, Rafael Guastavino utilizaría durante su carrera con sus aportaciones personales de utilización del cemento y de refuerzos metálicos en los puntos débiles. En el capítulo destinado a la construcción de bóvedas de cúpulas y linternas, se puede incluso entrever el procedimiento similar que siguió Guastavino para la erección de la cúpula de San Juan el Divino que ha desgranado recientemente el investigador Luigi Ramazzotti.[16] Más adelante, abun-

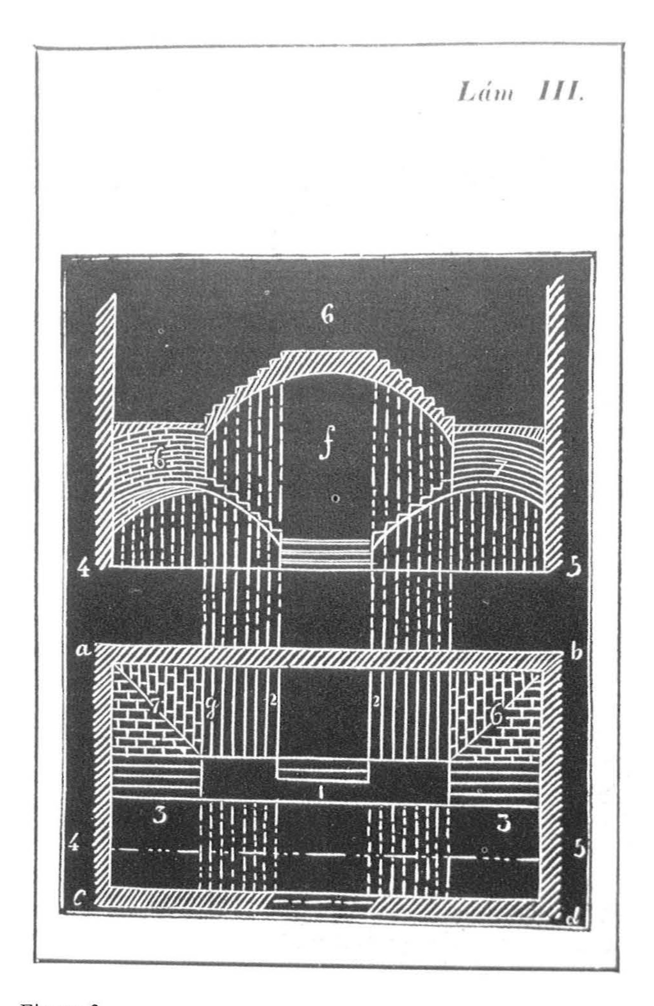


Figura 3
Lámina III de M. Fornés y Gurrea, *La práctica del arte de edificar*

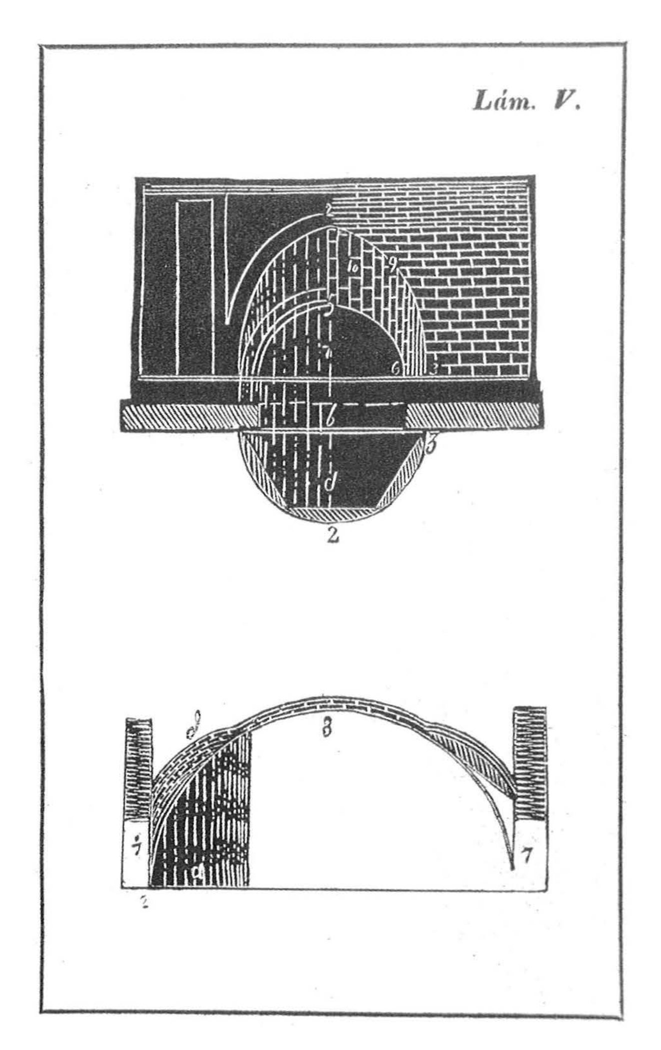


Figura 4
Lámina V de M. Fornés y Gurrea, *La práctica del arte de edificar*

daremos en las concomitancias entre las ideas vertidas en el tratado de Fornés y los escritos y conferencias de Guastavino.

En cualquier caso, la tradición constructiva de la bóveda tabicada como solución habitual en los revoltones entre viguetas de madera y en las rampas de las escaleras estaba muy presente en Valencia en aquella época, como demuestran los edificios residenciales que se conservan de antaño. En este periodo se está experimentando el proceso de sustitución de la casa palaciega por un tipo de edificio residencial plurifamiliar que respondía al perfil de la pequeña y mediana burguesía,[17] construcción racionalizada y económica que resultaba muy adecuada a la funcionalidad de estos edificios.

Además, tanto la zona de la ciudad de Valencia (Valencia-Alaquás-Manises) como el área de Castellón (Castellón-Alcora-Onda) estaban adquiriendo en aquellos años un auge en la industria cerámica basado en la tradición existente combinada con la aplicación de nuevas tecnologías, tanto a la explotación de las materias primas como a la producción.

En 1852, el industrial catalán Miguel Nolla constituyó una sociedad mercantil que poseía, entre otros negocios, algunas tejerías y talleres de alfarería que fueron el origen de la Industrial Valenciana, fábrica de alfarería y mosaicos que alcanzó una gran fama y cuyos productos son apreciados aún en la actualidad. En 1857, Mariano Novella fundó con dos socios «La Valenciana» en la ciudad de Onda, fábrica de cerámica constantemente preocupada por la innovación industrial; prueba de ello es la multitud de patentes solicitadas por su fundador en aquellos años. Entre dichas patentes, inventó un artilugio denominado «afiladora» que permitía limar los cantos de los azulejos barnizados o sin barnizar, dejando los ángulos a escuadra y facilitando así la puesta en obra, sobre todo en casos donde se requería una alta precisión geométrica. «La Valenciana» se convirtió en pocos años en la fábrica señera de la producción azulejera del país.

En 1861, el citado Novella también instaló, aportando dos máquinas de su invención, un taller de fabricación de piezas de adorno en barro y alabastro para la construcción de edificios, ladrillos de color y barniz y mosaicos. En el mismo año, otro fabricante llamado Juan Bautista White Bonelli obtuvo una patente sobre el procedimiento de cocer azulejos estampados y otra relacionada con un sistema de fabricación de azulejos en polvo por medio de presión. En 1859, el periódico local *El Valenciano* destacaba los adelantos en el ramo de la fabricación de ladrillos y reseñaba la reciente construcción de una gran fábrica entre la puerta de Quart y la de San Vicente.[18]

El arraigo de la tradición y el impulso en la renovación de los sistemas de producción de cerámica en la región valenciana a través de nuevas patentes y máquinas de fabricación durante la juventud de Rafael Guastavino no puede dejar indiferente a cualquier estudio de la obra de este arquitecto, que terminó por ocuparse personalmente de la producción del material cerámico de sus bóvedas en su fábrica de Woburn (Massachussets) y registró un gran número de patentes —18 invenciones registradas por el padre ampliadas a 25 por el hijo[19]—, no sólo relacionadas con la construcción de las bóvedas en sí, sino también con la propia fabricación de sus productos cerámicos.

Rafael Guastavino hijo realizó su primer viaje desde Estados Unidos a Valencia en 1912, ciudad donde estuvo acompañado de su tío José Guastavino Moreno —entonces vicario castrense retirado— y de su primo segundo, el abogado Vicente Guastavino. Durante su estancia, visitó la fábrica de mosaicos de Nolla, fundada precisamente en ese momento de auge de la cerámica valencia-

na que presenció su padre durante su juventud.[20] El preciosismo que adquieren los patrones de los mosaicos en obras realizadas en los años sucesivos, como es el caso de la Capilla Mortuoria del Cementerio de Lakewood, en Minneapolis, o la Academia Nacional de Ciencias de Washington, donde Guastavino hijo colaboró el artista Hildreth Meiére, se podría interpretar a la luz de esta visita a la destacada fábrica valenciana.

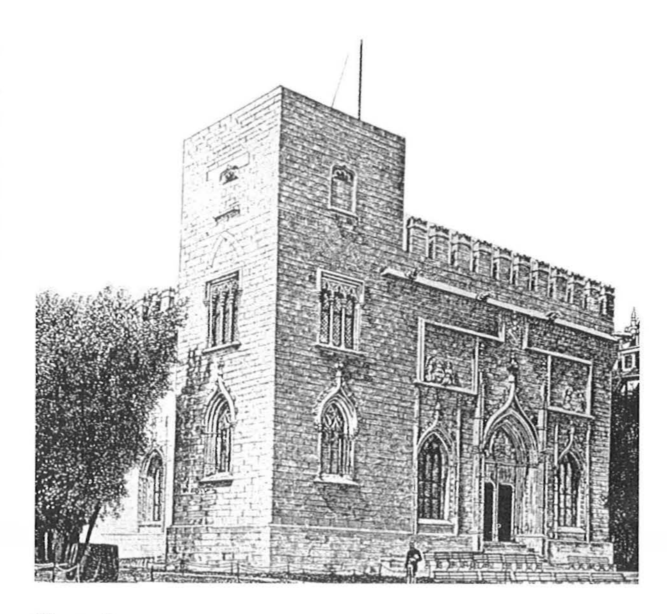


Figura 5
Dibujo de época del Pabellón Español de la Exposición de Chicago de 1893 construido por Guastavino (Ives)

El Pabellón de España en la Exposición Universal de Chicago de 1893

Se desconoce la relación de Rafael Guastavino Moreno con Valencia a partir de su traslado a Barcelona para la realización de sus estudios. Su familia permanece en esta ciudad y es de suponer que se mantuvo un contacto, al menos epistolar cuando no de visitas esporádicas, mientras estuvo en Barcelona, a juzgar por la estrecha relación que siempre se conservó con toda la parentela de su lugar natal. En su carrera profesional, sin embargo, tuvo oportunidad de reproducir un símbolo de la ciudad levantina, la Lonja de la Seda, con motivo de su nombramiento como arquitecto de la sección española de la Exposición Universal de Chicago de 1893.

Previamente, la inquietud de Rafael Guastavino Moreno le había conducido a su participación, en calidad de expositor, en otros certámenes nacionales e internacionales de este tipo. Había estado presente a concurso con sus primeras casas en Barcelona (Blajot, Juliá, Montalt, Oliver...)[21] en la Exposición de Agricultura, Industria y Bellas Artes celebrada en 1871 en Barcelona, en la Exposición Universal de Viena de 1873 —junto con Elías Rogent, que presentó el proyecto de la Universidad de Barcelona[22]— y en la Exposición Universal de Filadelfia de 1876, donde incluso llegó a ganar una medalla.[23]

En Filadelfia presentó, además de algunos de sus edificios, una propuesta especial llamada «Improving the Healthfulness of Industrial Towns» —Mejora de la Salubridad en las Ciudades Industriales—, con un sistema de edificación que denominó «Construcción Tubular»,[24] que no era otro que la extensión de la técnica de la bóveda tabicada, reforzada con hierro, a forjados y cerramientos, de manera que las cámaras y los alvéolos que quedaban encerrados en el espesor de muros y forjados sirvieran para mejorar el aislamiento, la ventilación y la resistencia. Este tipo de proyectos resultaba bastante habitual en las exposiciones decimonónicas, concebidas como foros del progreso y de la industria, desde que el príncipe Alberto diseñara y construyera una casa modelo para obreros con el fin de que fuera admirada durante la Exposición Universal de Londres de 1851. Guastavino interpretaba la tradición levantina de viguetas y revoltones, sustituyendo o reforzando éstas con elementos metálicos, ampliando la luz de los revoltones y vaciando las enjutas de las bóvedas con ayuda de pequeñas bóvedas muy tendidas.

La verdadera novedad que planteaba Guastavino, tanto en esta propuesta para Filadelfia como en sus posteriores bóvedas, y que le valió el éxito, al menos durante su primera época en Estados Unidos, radicaba en destacar las virtudes ignífugas de estos sistemas constructivos. En Valencia, Guastavino había vivido de cerca los pavorosos incendios que, con una frecuencia casi anual, se desataban en las barracas de pescadores de los barrios marítimos, y había sido testigo, en el entorno inmediato de su parroquia, del incendio que arruinó la antigua Casa Consistorial en 1859, precisamente en una ciudad donde se adora el fuego en las fiestas locales en su doble vertiente purificadora y destructora. Pero el peligro de inflamación acechaba igualmente en los Estados Unidos donde, a pesar de los reiterados incendios —18.000 casas destruidas en Chicago en 1871—, se construía en madera con los sistemas *balloon frame* y *platform*, y donde incluso el pabellón de hierro y cristal de la Exposición de Nueva York de 1853 —construido a imitación del contenedor de Paxton de Londres— se consumió en llamas antes de la clausura de la gran feria.[25]

La participación española en la Exposición Universal de Chicago y, por ende, la implicación de Guastavino como arquitecto del pabellón español, estuvo marcada de nuevo por el alto grado de improvisación y la vacilación inicial ante la carestía de medios que venía

caracterizando a nuestro país en su concurso dentro de las grandes exposiciones del siglo XIX, fruto sobre todo de la inestabilidad política. En cualquier caso, dicha participación se tomó más que nunca como una obligación inalienable, dado que se trataba de la conmemoración del descubrimiento de América.[26]

En el Real Decreto de 21 de abril de 1892, se dispone la participación en la gran feria y se nombra para ello a la Comisión General Española, con José Osorio y Silva como presidente —que dimitió y fue sustituido por el Duque de Veragua—, Juan Navarro Reverter y José de Cárdenas y Uriarte, como vicepresidentes, y Enrique Dupuy de Lome como vocal. Este último fue posteriormente nombrado Ministro de España en Washington[27] y, acto seguido, Delegado General de España en la Exposición Universal de Chicago.[28]

Juan Navarro Reverter (1844–1924) fue un ingeniero valenciano, dos años menor que Rafael Guastavino, miembro de la Real Sociedad de Amigos del País de Valencia desde muy joven, que se destacó pronto en política nacional, donde llegó a ocupar en varias ocasiones cargos de ministro y otros puestos de responsabilidad. Navarro Reverter conocía la obra de Guastavino a raíz de su participación como Secretario del Jurado Español en la Exposición Universal de Viena de 1873, de cuya experiencia escribió el libro *Del Turia al Danubio. Memoria de la Exposición Universal de Viena.*[29] Su experiencia en el mundo de las grandes ferias se había enriquecido posteriormente con su cargo de vicepresidente de la Exposición Universal de Barcelona de 1888 y delegado general de la representación española en la convocatoria de París de 1889.

Enrique Dupuy de Lome (1851–1904) fue un diplomático valenciano que estuvo delegado en Washington al principio de su carrera y ocupó el cargo de Ministro de España en la misma ciudad desde 1892 hasta la Guerra de Cuba en 1898.[30] Era hijo de Santiago Luis Dupuy de Lome, conocido por haber sido el introductor de la máquina de vapor en la industria valenciana en 1837, sólo cinco años después de su aparición en Barcelona.[31] Por este mérito, Santiago recibió de la Sociedad Económica de Amigos del País una medalla de oro y el título de socio de mérito, y se convirtió en un personaje conocido en la ciudad.[32]

El concurso de ambos fue seguramente fundamental para la elección de Guastavino, que ya había comenzado a destacar en el panorama norteamericano con obras como la nueva Biblioteca de Boston (1887), como arquitecto del pabellón español de la Exposición. La reproducción de la Lonja de la Seda del maestro de obras Pere Compte como pabellón español tuvo como excusa su condición de edificio contemporáneo del descubrimiento de América pero, probablemente, la voluntad de Guastavino de demostrar su habilidad como constructor de bóvedas en el salón columnario y la presencia valenciana en los cargos directivos del Comité fueron decisivas en la opción final para la forma del pabellón español.

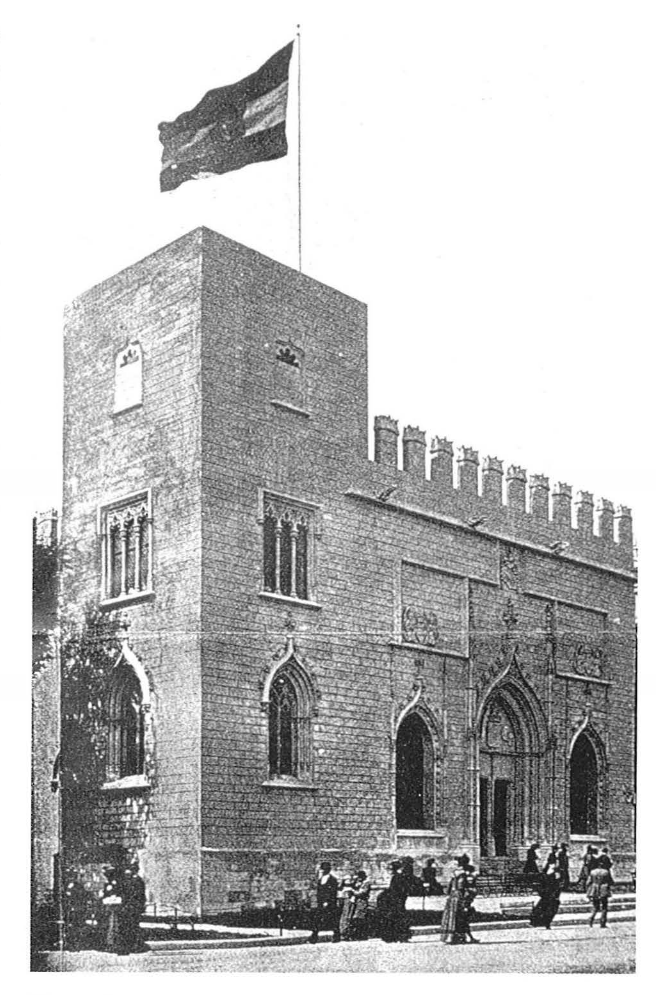


Figura 6
Fotografía histórica del Pabellón Español de Chicago, 1893 (Ives)

En efecto, Guastavino reprodujo del monumento únicamente aquello que más le fascinaba: el espacio abovedado del Salón de Contratación y la torre adosada al mismo, que en otro tiempo sirvió de prisión para morosos. Su proyecto eliminó el edificio del Consulado del Mar adyacente a la torre e imitó fielmente el cuerpo de la Lonja propiamente dicha. Para ello, debió inventarse una fachada norte de la torre inexistente, que copió de la fachada oeste. De esta manera, el pabellón español estuvo formado por un gran salón rectangular con ocho columnas centrales entorchadas y una torre adosada en fachada en la esquina noroeste que sobresalía en altura.

Las bóvedas de rampante redondo del salón columnario de la Lonja poseen especial interés por ser uno de los primeros casos en la arquitectura española. Por su parte, la bóveda del torreón de la Lonja muestra las primeras pechinas esféricas de la península combinadas con

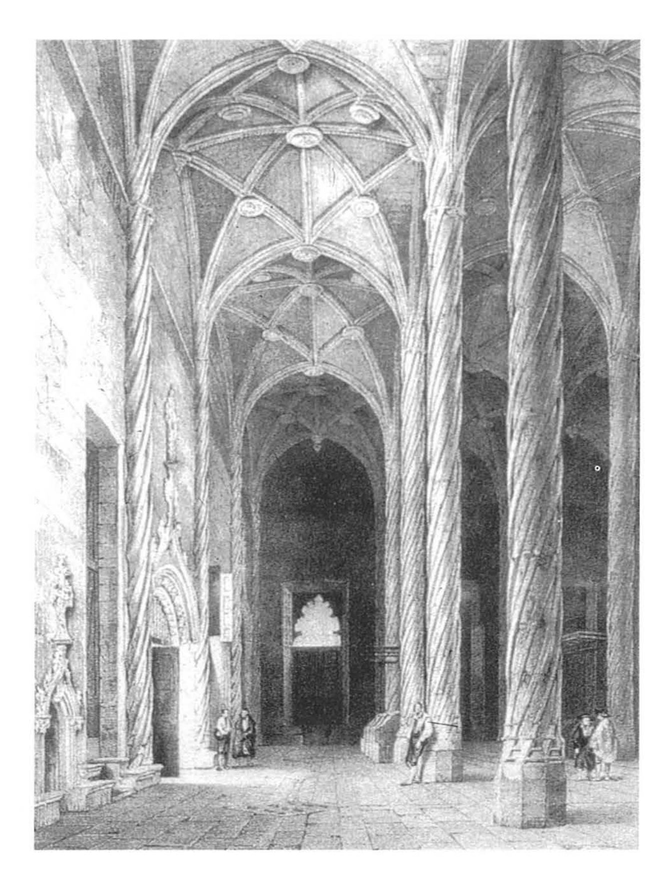


Figura 7
Interior del Salón Columnario de la Lonja de Valencia, visto por Chapuy del Bachelier (1845) (Archivo Arturo Zaragozá)

una cúpula gallonada en un conjunto que resume la complejidad geométrica del ochavo y la esfera y las soluciones de la arista y la superficie continua, y sintetiza el desarrollo técnico de la estereotomía posterior.[33] Es decir, el edificio reúne en su interior un abanico de bóvedas diversas que constituyó un hito en la historia de la arquitectura española. Por el contrario, el Consulado del Mar adyacente no posee abovedamientos en las plantas principales, que están forjadas con artesonados de madera.

El conjunto del pabellón poseía 95 pies (29 m) de longitud por 84 pies (26 m) de anchura. La altura exterior del cuerpo del edificio ascendía a 50 pies (15 m), y la torre se elevaba a 65 pies (20 m).[34] Aplicadas estas medidas al edificio original, se deduce que Guastavino reprodujo exactamente la Lonja de Valencia a $^{3}/_{4}$ partes de su tamaño real, pero manteniendo todas sus proporciones, como demuestra la figura, al contrario de lo que sugiere la investigadora Bueno Fidel, que interpreta las medidas globales del pabellón como si Guastavino hubiera deformado la construcción original para adaptarse a un solar más cuadrado.[35]

No se conservan imágenes del interior del pabellón, pero sí testimonios descriptivos,[36] que destacan el empaque del espacio con sus esbeltos fustes salomónicos y sus bóvedas nervadas. Como se ha comentado, la Sala de Contratación de la Lonja real está cubierta con bóvedas de sillería de rampante redondo con nervios sogueados.[37] A juzgar por esta descripción, Guastavino reproduce los nervios y, con bastante probabilidad, remeda el despiece de la sillería original con bóvedas tabicadas de ladrillo que dejaría seguramente vistas, como sucedía en muchos de sus edificios. Guastavino hijo utilizó sogueados en la decoración de arcos en la Sala Della Robbia del Hotel Vanderbilt de Nueva York, en 1912, por ejemplo, lo que nos hace suponer que, probablemente, su padre no tendría empacho o dificultad técnica alguna para incorporarlos al pabellón español.

El aspecto del intradós de las bóvedas de Guastavino, de ladrillo visto con o sin nervios, evocaba el despiece desornamentado de las espectaculares bóvedas de arista del siglo XV valenciano construidas por el maestro de obras Francesc Baldomar. Estas bóvedas aristadas de cantería, que dejaban atrás las nervaduras góticas, constituyen el primer salto conceptual hacia las bóvedas tabicadas de ladrillo en cometidos de grandes luces, donde existe una colaboración solidaria y democrática

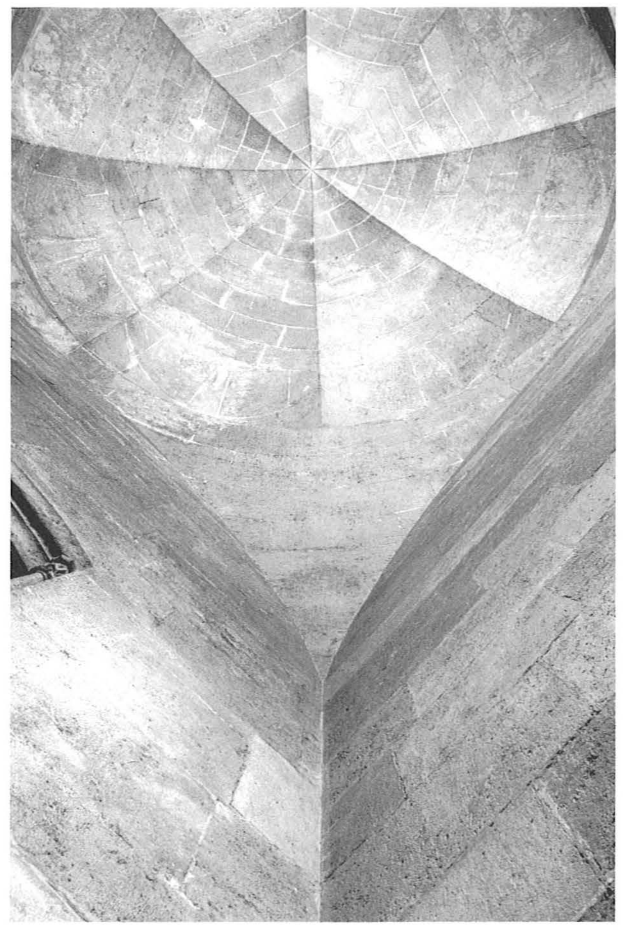
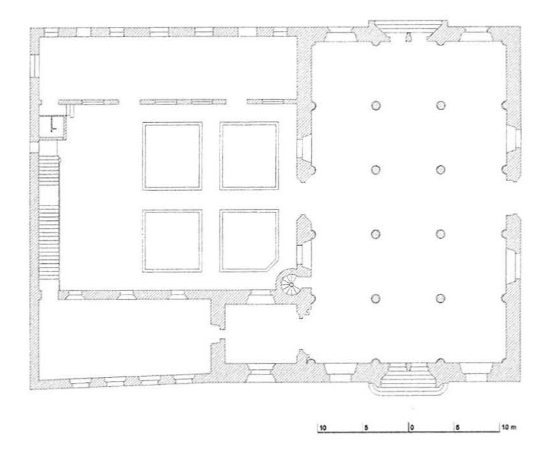
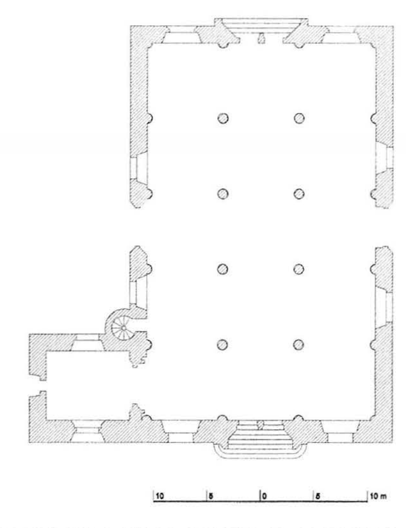


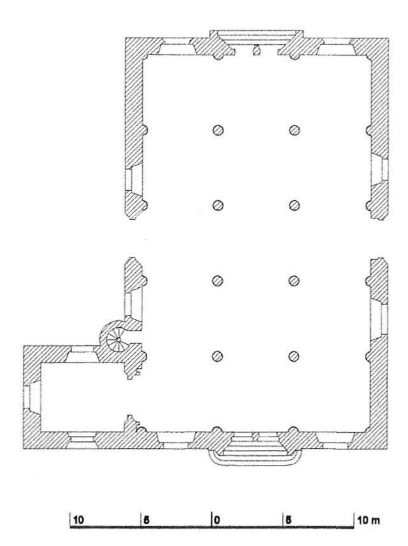
Figura 8
Bóveda del torreón de la Lonja de Valencia (Foto: F. Vegas)



EDIFICIO DE LA LONJA JUNTO AL CONSULADO DEL MAR



EDIFICIO DE LA LONJA SIN EL CONSULADO DEL MAR



PABELLÓN ESPAÑOL DE GUASTALVINO EN CHICAGO

Figura 9
Comparación de la planta de la Lonja de Valencia con el Pabellón Español de Chicago construido por Guastavino. (Elaboración propia. Técnico: José Antonio Hidalgo)

de la plementería concebida como una construcción cohesiva, que era precisamente la expresión que utilizaba Guastavino para presentar sus teorías.

Las tracerías de la Lonja de Valencia habían sido objeto en 1885 de una restauración estilística realizada por el escultor José Aixa a partir de los pocos fragmentos que quedaban sin dañar de las mismas.[38] Guastavino inventó nuevas tracerías góticas de gusto anglosajón para las ventanas de su pabellón, más acordes con el entorno donde se estaba construyendo su réplica. Esta desviación no debe ser achacada a la distancia o la improvisación, puesto que otros detalles como el escudo y los angelotes del alfiz, la fronda de los arcos conopiales y las figuras alegóricas de las enjutas de las ventanas se reprodujeron con todo detalle. En este sentido apunta también la significativa utilización de vidrieras de colores en las tracerías del salón principal del pabellón, a diferencia del original de la Lonja y de otras obras similares del gótico civil mediterráneo, cuya fenestración nunca incorpora policromía.[39] Esta concesión a la decoración por encima del rigor histórico y científico contribuyó a la culminación de la belleza del interior del Salón Columnario.

En cualquier caso, la sobriedad exterior del pabellón español con su torre-calabozo no provocó el efecto deseado. A ojos de los americanos, este edificio aparentemente severo evocaba la represión española en las Indias, y no fue entendido en el conjunto del clasicismo pomposo y festivo de la *White City*. Su presencia dura y casi marcial junto al pabellón alemán rococó de formas amables y múltiples colores fue interpretada como una ofensa al buen gusto y al saber estar en un recinto de sus características. Sin embargo, aquellos que se aventuraron a penetrar en él dejaron constancia de la extraordinaria experiencia de aquel espacio interior: «La belleza del pabellón español estaba toda en el interior [...], es imposible que alguien que haya estado dentro del hall de columnas, [...] que componen el majestuoso interior, se vaya sin llevarse un duradero recuerdo de España y Colón».[40]

No se poseen muchos datos sobre la enjundia constructiva del pabellón de Guastavino. Hemos dado por sentado que la cubierta estaba formada por bóvedas tabicadas de ladrillo, que quizás estuvieran reforzadas con algún elemento metálico, partiendo de la experiencia y los precedentes de la carrera de Guastavino. Los muros estaban construidos con sillares de piedra blanca, según un artículo periodístico de la época, y en piedra arenisca marrón, según Bueno Fidel, que cita catálogos contemporáneos, si bien las fotografías de época parecen revelar una construcción ligera. En efecto, resulta sorprendente que el edificio se construyera o siquiera se aplacara en piedra en medio de una magnífica ciudad de yeso y cartón.

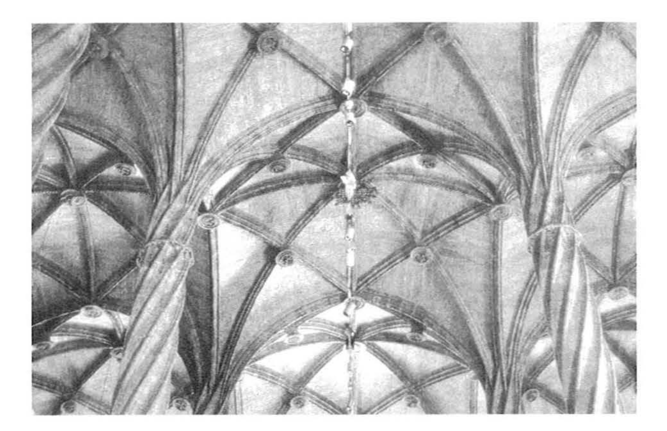


Figura 10
Detalle de la bóveda de la Sala de Contratación de la Lonja de Valencia (Foto: F. Jarque)

Pero su presupuesto, a pesar de su exterior austero, apunta a una inversión de gran envergadura que sostendría la hipótesis de la piedra. El coste final del pabellón ascendió a 45.000 dólares de la época, cifra que los libros de la Exposición gustaron de recalcar. Dieciséis años después, la extraordinaria cúpula de la catedral de San Juan el Divino costó solamente 22.200 dólares, a pesar de que la obra se prolongó durante todo un año. Esta referencia puede dar una idea del coste del pabellón español de Guastavino en comparación con el resto de los pabellones, cuya aparente grandilocuencia resultaba mucho más económica y encubría, sin embargo, construcciones de filfa.

La epidermis clasicista de los grandes pabellones oficiales y los pequeños pabellones nacionales se concebía como un gran escenario urbano que ocultaba estructuras lígneas, metálicas o mixtas, muy vulnerables al fuego. Los incendios estaban a la orden del día en los recintos expositivos de antaño, y la *World's Fair* no fue una excepción. El pabellón de *Cold Storage*, por ejemplo, ardió completamente con todo su contenido durante la celebración de la feria. En caso de que el pabellón de Guastavino se hubiera construido realmente en piedra, habría sido ignífugo, como él gustaba de presentar sus obras.

Pero esta cita de la Lonja de la Seda de Valencia no constituyó un caso aislado. Resulta interesante observar la fascinación creciente que ejerce este edificio durante la segunda mitad del siglo XIX. Los planos del arquitecto Antonio Rubio, las ilustraciones de Lagier, las litografías de Chapuy del Bachelier y los grabados de Ramón María Ximénez, entre otros, representan el preludio de interpretaciones libres e inspiradas, como el Café-Restaurant de Lluís Domènech i Montaner para la Exposición de Barcelona (1888), el proyecto final del arquitecto Antonio de Falguera en la Escuela de Barcelona (1901) o la doble paráfrasis que, del original y la copia de Domènech, realiza el arquitecto Francisco Mora en el Palacio Municipal de la Exposición Regional de Valencia (1909).

El episodio del pabellón de Guastavino en Chicago alimentó esta obsesión recurrente y contribuyó al fomento de las obras de restauración del monumento original en la ciudad de Valencia, que había visto publicado el edificio en los semanarios ilustrados de gran parte de Europa.[41] En efecto, la Lonja, que venía siendo objeto de reparaciones ocasionales durante el último tercio del siglo XIX, recibe a partir de 1893 un fuerte impulso de rehabilitación con la sustitución de la cubierta en mal estado y la sobre elevación en estilo de la torre adyacente.

El pabellón gótico de Chicago de 1893 constituye un caso singular dentro de los estilos habituales en este tipo de eventos. Los edificios españoles de las grandes exposiciones internacionales decimonónicas mostraron a menudo el pasado musulmán de la península. España era identificada con el exotismo oriental y desde el país se fomentaba esta visión enriquecida con pretendidos grandes recursos naturales para desviar la atención sobre una industria poco desarrollada.[42] En la misma Exposición de Chicago de 1893, el *Manufactures Building* albergaba otra instalación española, diseñada por el arquitecto Joaquín Pavía, que reproducía las arcadas de la Mezquita de Córdoba.

La decisión de escoger la Lonja como modelo para el edificio representativo en la Exposición Colombina puede haber partido tanto de Dupuy de Lome como de Navarro Reverter o Guastavino, o puede haber sido también el fruto de una conjura de estos tres valencianos en la diáspora. El neogótico, en efecto, fue una plataforma de reivindicación nacionalista o regionalista para Cata-

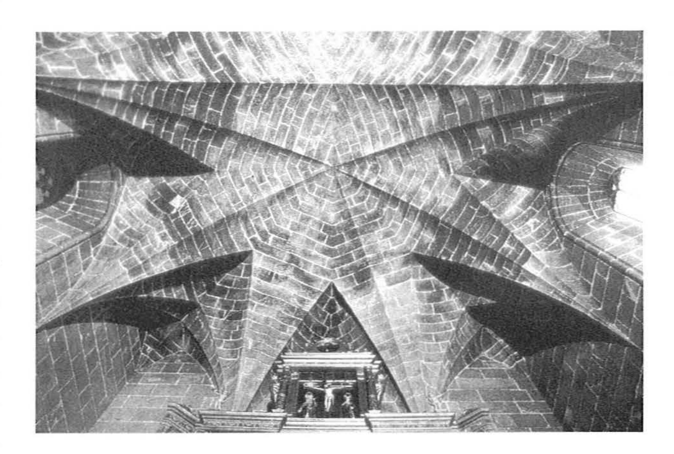


Figura 11
El aspecto desnudo de la bóveda de la Capilla Real de Santo Domingo en Valencia construida por Francesc Baldomar a mediados del siglo XV (Foto: F. Jarque)

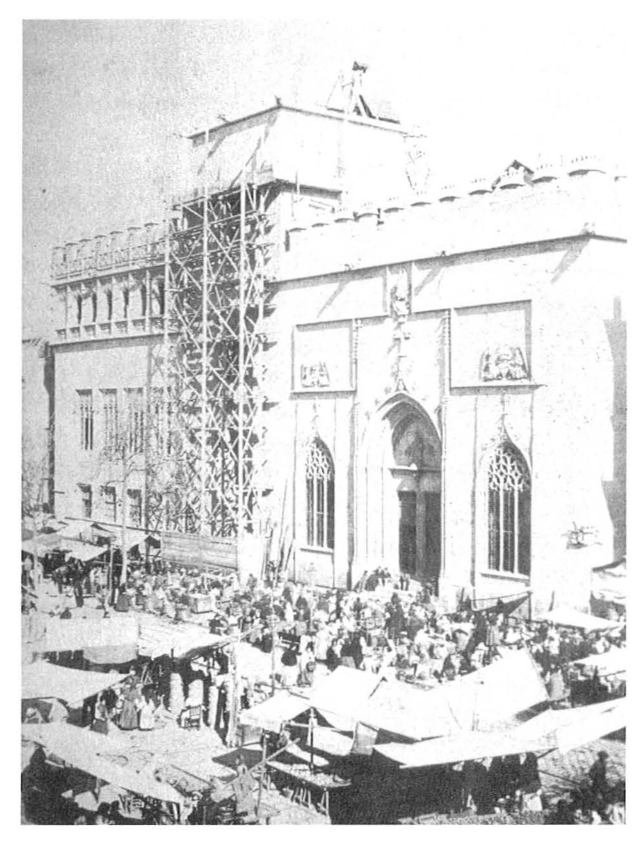


Figura 12
La Lonja durante las obras de sobreelevación de la torre (1896) (Foto: A. García Cardona, Archivo J. Hughet)

luña y Levante ya durante el último tercio del siglo XIX, de la misma manera que el neoplateresco encarnó la pervivencia del espíritu castizo en los difíciles años posteriores a la Guerra de Cuba. Pero, partiendo de esta reflexión sobre el significado latente en las opciones estilísticas, cabría preguntarse cuáles fueron las coordenadas de Rafael Guastavino en la encrucijada del eclecticismo.

El eclecticismo en la obra de Rafael Guastavino

La arquitectura que presencia Rafael Guastavino durante su estadía en Valencia se caracteriza por el predominio del lenguaje neoclásico, que aparecía de manera patente en la configuración de los edificios públicos —léase el Teatro Principal, por ejemplo—, y se muestra en pequeñas molduras y detalles decorativos en las escuetas fachadas academicistas de los edificios residenciales. El Neoclasicismo, que había buscado una solución que enlazara la belleza canónica de la antigüedad con las nuevas estructuras económicas, políticas y culturales, se acercaba a su fin, al tiempo que se vislumbraba la recuperación de otros estilos históricos. Antes de su partida a Barcelona, Guastavino fue testigo de la construcción de las primeras obras en estilo neoárabe en la ciudad de Valencia; a saber: el palacete de la calle Torno de las Monjas de Vicente Martí (1856) y el edificio de fachada neomudéjar en el Paseo de Ruzafa 38, del maestro de obras Lucas García (1859).[43] Los ecos de la arquitectura morisca que comenzaban entonces reivindicaban aspectos festivos y recreativos junto a un todavía confuso nacionalismo.

En Barcelona, donde residió entre 1861 y 1881, su obra se encuadra dentro de un periodo de transición que arrastra resabios neoclásicos y se dirige hacia la creación de una arquitectura propia, basada en la reinterpretación de la arquitectura histórica nacional, bajo la égida de Elías Rogent. Durante su época de estudios en la Escuela Especial de Maestros de Obra, en el curso de 1863–1864, Guastavino asistió también a las clases de Historia y Teoría de las Bellas Artes que se impartían en la Academia Provincial, disciplina por la que, se sabe, mostró especial interés.[44] Esta base teórica le sería de gran utilidad posterior tanto en el hábil manejo de diferentes estilos históricos para sus clientes en Estados Unidos, como en sus reflexiones teóricas sobre la condición de la arquitectura en los episodios del pasado, del presente.

Su obra construida en Barcelona se podría dividir en dos grandes grupos: los edificios industriales y los residenciales. En el primer apartado destaca con fuerza la fábrica Batlló, con un lenguaje escueto y funcional que constituye el primer banco de pruebas de sus bóvedas. En el segundo, los edificios residenciales, integrados en la trama de la ciudad, se caracterizan por sus fachadas sobrias, con el empleo eventual de detalles neohelénicos como frontones, acróteras, frisos, columnillas o estucos con despieces fingidos de sillería, en forma de machones o extendidos a toda la fachada. Ejemplos de estos edificios son la Casa de Miguel Buxeda, la Casa de Víctor Blajot, la Casa de A. Anglada... A finales del siglo XIX, Guastavino proporcionó una explicación a este lenguaje de cariz neogriego, a raíz de la influencia de los descubrimientos arqueológicos realizados en aquella época.[45]

Resulta interesante observar cómo estos edificios nombrados y otros botones de muestra como la Casa Camilo Juliá y la casa que construye para sí mismo se caracterizan por su ubicación en chaflanes de las manzanas del Ensanche. Estas construcciones de distribución interna elaborada poseen generalmente entresuelo, cuatro plantas y buhardilla. Su fachada muestra una composición con acceso central por el eje, miradores o cuerpos laterales en las esquinas a modo de charnelas y balcones en la fenestración que se convierten eventualmente en balconadas para significar el piso principal sobre el eje de entrada. La desenvoltura de Guastavino en este tipo

de encargos residenciales le valió un éxito respetable durante su estancia en Barcelona.

En 1881, emigró a Nueva York. Sus primeros pasos en Estados Unidos se caracterizaron por sus colaboraciones escritas y dibujadas en la revista *Decorator and Furnisher*, donde publica diversas láminas en estilo renacentista español y, posteriormente, en estilo persa, árabe, bizantino, egipcio y morisco. Estas opciones son muy significativas de la coyuntura del momento. En España se había restaurado recientemente la monarquía y existía la voluntad de reinstaurar el orden establecido con el concurso de los estilos históricos como referencia propia e imagen externa. En la Exposición de Filadelfia de 1876, la representación española había construido dos estructuras: un arco de triunfo en estilo renacentista con decoración plateresca y un pabellón árabe que había alojado las propuestas de Rafael Guastavino para el «Improving the Healthfulness of Industrial Towns», —Mejora de la Salubridad en las Ciudades Industriales—. El *alhambrismo* arraigó con fuerza en la Península Ibérica, sobre todo a raíz del pabellón español en la Exposición de París de 1878, y se había constituido en la representación del país por excelencia.[46]

Tanto estas láminas publicadas en Estados Unidos como sus edificios de la primera época construidos en estilo árabe, muy desconocido en Norteamérica, se enmarcan dentro de esta línea que Guastavino adopta, bien por convencimiento propio y voluntad de autorreferencias, bien por necesidad de irrumpir en un mercado nuevo con propuestas exóticas y sugerentes. Edificios como el Progress Club o las casas en hilera de la avenida West 78th en Nueva York pueden entenderse en esta clave.

La condición de constructor de Rafael Guastavino en la mayor parte de sus obras posteriores en Norteamérica podría parecer un óbice para la interpretación del significado de los lenguajes arquitectónicos empleados. Sin embargo, cabe considerar que, precisamente en su obra, las soluciones constructivas discurren parejas con las opciones de proyecto, es decir, gran parte de la imagen final del edificio se debe a la capacidad y versatilidad del constructor para erigir el género de la fábrica arquitectónica. De esta forma, creemos acertado pensar que, en muchas ocasiones, Guastavino compartía las decisiones formales del proyecto con el arquitecto autor del mismo.

Realizado un muestreo con ochenta edificios construidos en Norteamérica entre 1883 y 1920 por ambos Guastavinos, padre e hijo, es posible extraer varias conclusiones. Se puede afirmar la existencia en términos generales de un eclecticismo tipológico,[47] es decir, la utilización de un estilo determinado en función del programa del edificio a construir, sobre todo, en los edificios religiosos. De esta manera, normalmente, en los proyectos de iglesias, católicas, protestantes o baptistas, se recurre al estilo neogótico, en una gran variedad de soluciones, o a las referencias bizantinas, en busca de una espiritualidad prestada bajo palio abovedado.

Se destaca entre ellas por su clasicismo depurado, la iglesia católica de St. Lawrence en Asheville, de planta elíptica, con 82 pies (25 m) de eje mayor y 58 pies (18 m) de eje menor. Esta iglesia, ubicada junto a su retiro en Carolina del Norte, poseía una especial significación para Rafael Guastavino, porque había celebrado en su parroquia sus segundas nupcias con Francesca Ramírez y, por ello, había ofrecido el proyecto gratuitamente a la comunidad.[48] Curiosamente, en este templo se pone de manifiesto la influencia de la emblemática Basílica de los Desamparados de Valencia, con su planta elíptica de menores dimensiones y su estilo clasicista.

En los edificios relacionados con las finanzas, se emplea un clasicismo que depura su decoración conforme avanza el siglo XX, siempre reclamando una dignidad para las instituciones que albergan. En los edificios relacionados con la práctica del deporte, se utiliza desde el lenguaje clásico hasta el estrictamente funcional, como es el caso de la piscina de Payne Whitney o el gimnasio de cadetes de la Academia de West Point, donde la solución de bóvedas rebajadas de doble curvatura remite a la obra posterior de Eladio Dieste. En las estaciones, pasajes y lugares de transferencia, se recurre a un clasicismo sobrio, de bóvedas apoyadas en columnas o machones o de entablamentos que sirven de imposta a gigantescas bóvedas con lunetos. Entre los edificios dedicados a la enseñanza se encuentran citas tan significativas como el Centro Educativo de Albany (Nueva York), que constituye una reproducción muy interesante de la sala de lectura de la Biblioteca Nacional de Henri Labrouste en París, donde los arcos metálicos fueron sustituidos por arcos de mampostería. Generalmente, las obras muestran un aspecto desornamentado más propio del concepto del *Baukunst*, o arte de construir, que de la arquitectura de academia. Si existe ornamentación, ésta forma parte generalmente del aparejo constructivo de la fábrica. Su objetivo era vincular la construcción y el arte ornamental, es decir, construir decorando. Es por ello que Guastavino despreciaba el Clasicismo francés por su condición habitualmente frívola y superficial, esto es, por su carencia de fundamento constructivo y, sin embargo, lo admitía cuando se basaba en los principios racionales de la construcción cohesiva, como era el caso del clasicismo hábilmente aparejado de sus obras.[49]

Las raíces de esa concepción de la arquitectura íntimamente ligada a su condición constructiva se encontraban en la arquitectura romana, como ilustra claramente una obra construida posteriormente en el recinto de una exposición. En efecto, después de la Gran Feria de Chicago de 1893, Rafael Guastavino participó como cons-

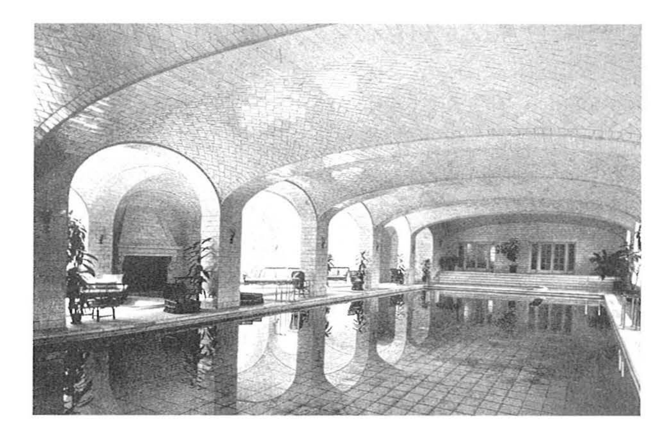


Figura 13
Piscina de Payne Whitney en Manhassett (Estado de Nueva York) de Guastavino (GE)

tructor de un pabellón en la Exposición Internacional de Sant Louis de 1904, cuyo recinto de pabellones clasicistas de color blanco marfil recibió el nombre de *Ivory City*, en recuerdo del éxito de la *White City* de Chicago.[50]

Rafael Guastavino erigió el Palacio de las Artes del recinto de la Exposición, que había sido proyectado por el arquitecto Cass Gilbert, responsable del diseño del conjunto.[51] La imagen que se conserva del interior del pabellón muestra una nave cubierta con una bóveda de cañón tabicada en espina de pez de 60 pies de diámetro (18 m), con ventanas semicirculares en los lunetos laterales y el piñón, y espacios laterales adosados a la nave cubiertos con bóveda de cañón perpendicular a la misma y lucernario cenital. La apostura sobria del edificio, con sus robustas fábricas de ladrillo desnudo y sus arcos que muestran hasta nueve roscas a tizón evoca con fuerza el mundo de las termas romanas. En este sentido apuntan igualmente la división tripartita de las ventanas semicirculares de los lunetos y el despiece aspado de su carpintería.

En su arqueologismo, este edificio manifiesta claramente las preferencias de Guastavino, que admiraba la solidez de la arquitectura romana y consideraba la obra de Choisy *El arte de construir en Roma*, como una de las aportaciones más importantes de su época.[52] Calificaba su propia arquitectura con el nombre de «construcción cohesiva romana» en referencia a las virtudes de los edificios masivos y monolíticos del mundo romano.

Guastavino utilizaba también la expresión de «construcción orgánica» para definir su arquitectura y abogaba por una inspiración directa en los procesos de la naturaleza para la creación de la misma.[53] Resulta interesante observar cómo el arquitecto valenciano Manuel Fornés y Gurrea, en su tratado sobre bóvedas tabicadas y otros aspectos de la construcción, recurre también a la naturaleza para exponer sus soluciones arquitectónicas; además coincide de nuevo con Guastavino en la necesidad de combinar la teoría y la práctica en la instrucción de la arquitectura y en la conveniencia de una aproximación de conocimiento mutuo entre arquitecto y operarios. Este representante del Neoclasicismo tardío valenciano comparte con Guastavino un mismo enfoque esencialmente constructivo, que sorprende por su pertenencia a la Academia de San Carlos y le obliga a una explicación expresa donde declara que la construcción es la llave maestra de la arquitectura.[54]

Manuel Fornés también fue un admirador de la arquitectura romana, a la que frecuentemente hacía referencia en sus escritos, no sólo en cuestiones estilísticas sino también en sus aspectos constructivos, tal como sucedía con Guastavino. En su *Álbum de proyectos originales de arquitectura*, publicado en 1846, Fornés dedicó un capítulo al Panteón, donde aprovechó para alabar la impresionante cúpula de la iglesia de las Escuelas Pías de Valencia, con un diámetro interior de 24,5 m, construida por el arquitecto valenciano Antonio Gilabert.[55]



Figura 14
Sala de lectura de la Biblioteca Nacional de París de Henri Labrouste (Middleton)

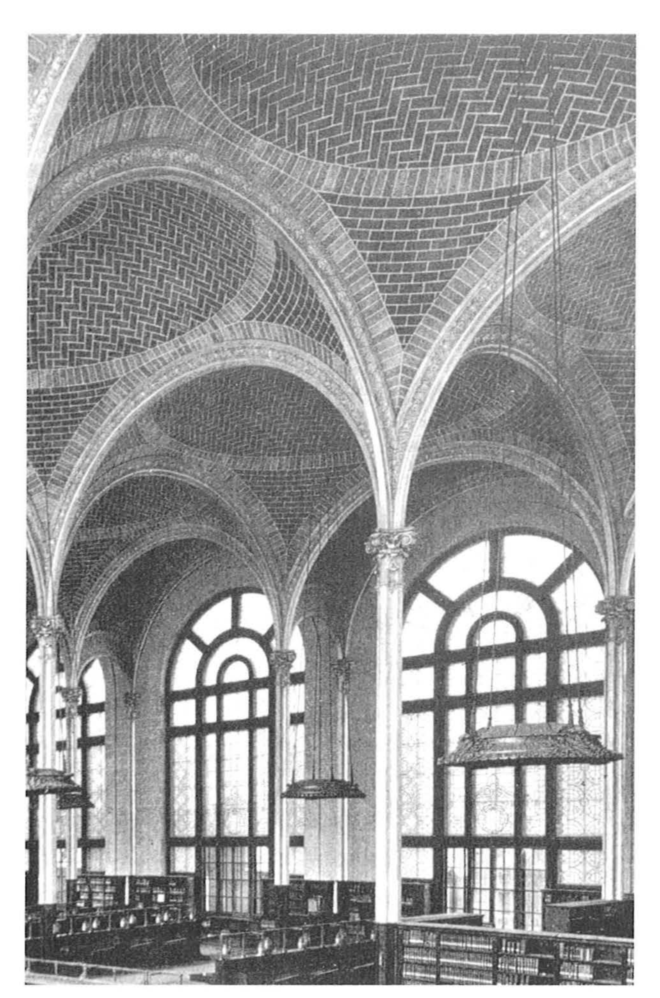


Figura 15
Centro Educativo de Albany (Estado de Nueva York) de Guastavino (GE)

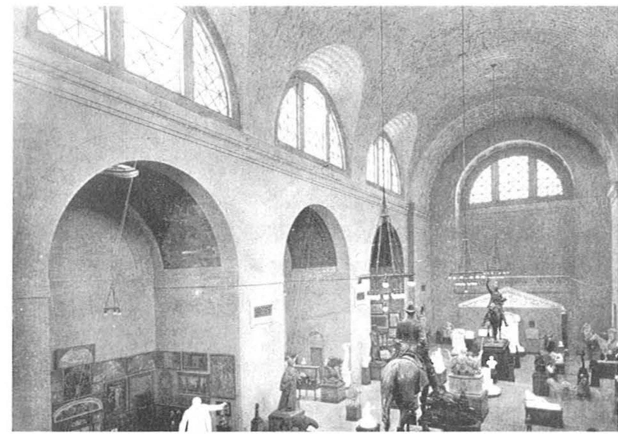


Figura 16
Palacio de las Artes del recinto de la Exposición de Sant Louis de 1904 de Guastavino (GE)

Guastavino conoció en su juventud ésta y otras cúpulas de la ciudad de Valencia, cuyo paisaje urbano fue precisamente conocido en el siglo XIX, antes de la demolición generalizada de conventos, por la ubicuidad de sus cúpulas y campanarios. Una comparación somera entre los detalles de las obras de Guastavino y las secciones de algunas cúpulas tradicionales del centro histórico de Valencia permite descubrir puntos comunes en las mismas, que se extienden desde los aspectos iconográficos hasta los constructivos.

Esta ciudad conventual, sembrada de bóvedas y cúpulas, marcó posiblemente la concepción de la arquitectura de Rafael Guastavino durante su formación, tanto como determinó sus aspectos constructivos, que estaban basados en la más consuetudinaria tradición local. Cabría afirmar entonces a la vista de todos los argumentos expuestos, que el peso específico de los orígenes de Guastavino en Valencia fue mayor de lo que, en un principio, cabría esperar.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento a Desamparados Guastavino, Amparo Guastavino y Enrique Dupuy de Lome Sánchez-Lozano por permitirme acceder a sus archivos personales, a los estudiantes Miguel Arraiz, José Antonio Hidalgo, Helga

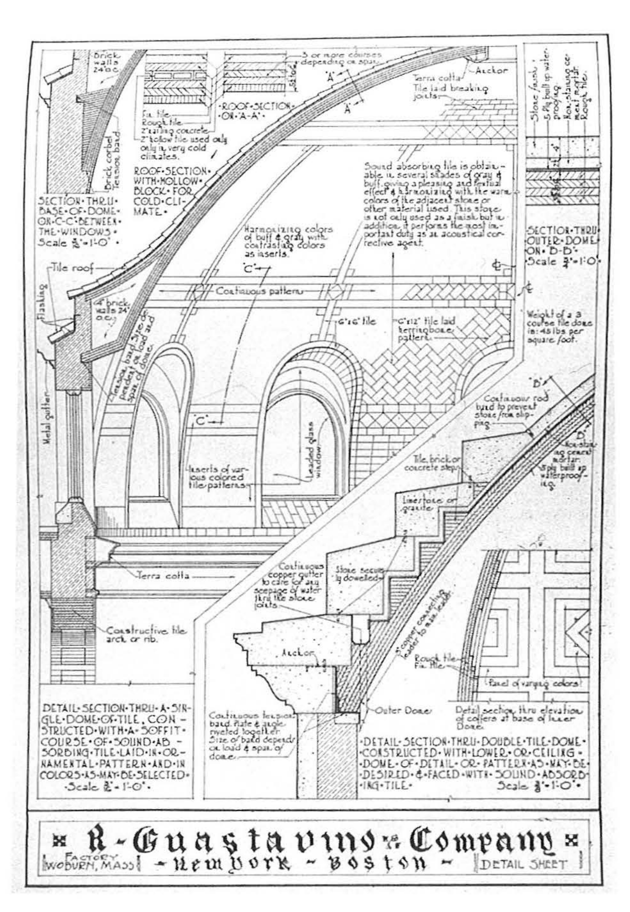


Figura 17
Detalles constructivos de bóvedas de Guastavino (GE)

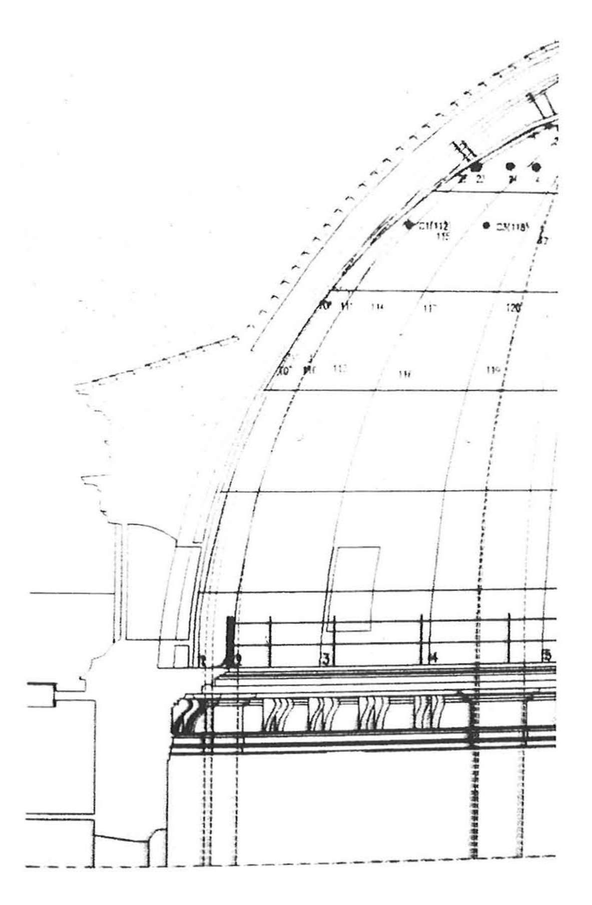


Figura 18
Detalle de la cúpula de la Basílica de los Desamparados en Valencia (Bosch)

Descalzo y Victoria Fernández por su ayuda, y a Arturo Zaragozá (AZ) por sus ideas y consejos.

Notas

1. En el artículo, si no se especifica, siempre que se diga Rafael Guastavino o Guastavino se está refiriendo a Rafael Guastavino Moreno (1842–1908). En otro caso, se especificará Rafael Guastavino hijo o Guastavino hijo, simplemente.
2. Juan Francisco Noguera Giménez, «El Centro Histórico de Valencia como modelo de ciudad conventual», *Historia de la Ciudad. Recorrido histórico por la arquitectura y el urbanismo de la ciudad de Valencia*. Valencia: Colegio Oficial de Arquitectos de la Comunidad Valenciana, Edición de S. Dauksis y F. Taberner (2000): 113.
3. Manuel Sanchís Guarner, *La Ciutat de València. Síntesi d'Historia i de Geografía urbana*. Valencia: Sisena Edició, Ajuntament de València, 1997, 436–486.
4. Se trataba de una gran estufa de hierro y vidrio, una de las primeras construcciones de su tipo en España, de 24 m de longitud, 8,25 m de luz y 9 m de altura. Véase Joaquín Bérchez Gómez et al.: *Catálogo de Monumentos y Conjuntos de la Comunidad Valenciana,* 2. Valencia: Consellería de Cultura, Educación y Ciencia, 1983, 630.
5. «En la Parroquia de San Pedro de la Metropolitana de Valencia, día dos de marzo del año mil ochocientos quarenta y dos, el infrafirmado D. Francisco Alfaro, Vicario de la misma bauticé solemnemente a Rafael Ramón Rosendo y Pedro, hijo legítimo de Rafael Guastavino, natu-

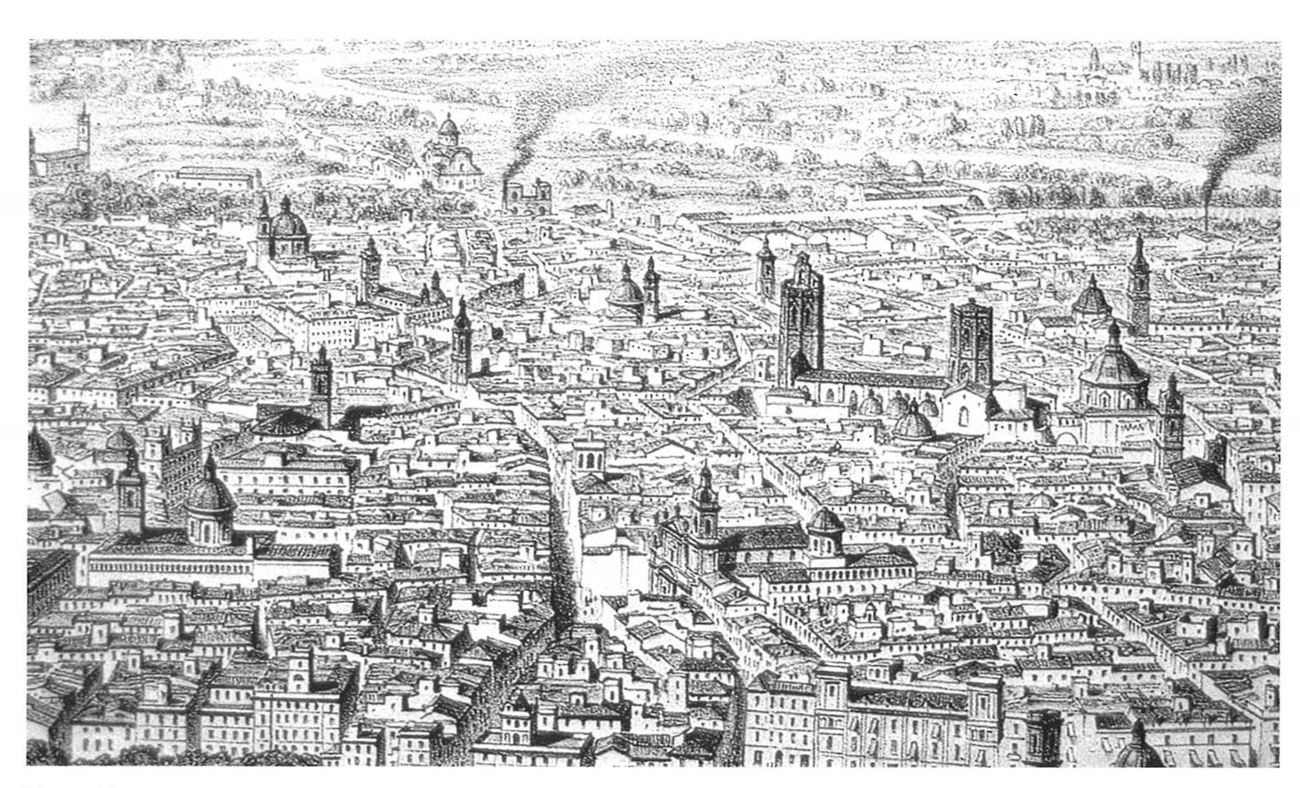


Figura 19
Vista de Valencia dibujada por A. Guesdon en 1858 (AAVV, *Historical maps of the town of Valencia. 1704–1910)*

ral de Barcelona y de Pasquala Moreno, natural de Torreblanca, casados en San Esteban, vecinos de esta Parroquia. Abuelos paternos: José Guastavino, natural de Génova, difunto en Madrid y Antonia Buc natural de Barcelona, vecina de Santa Catalina. Maternos: Manuel Moreno y María Josefa Ebri, naturales y difunto en Torreblanca y vecina de esta Parroquia. El padre del bautizado de oficio carpintero. Nació ayer a las nueve de la noche. Padrinos: Antonio Llorens, casado, cesante del Resguardo, natural de Villajoyosa, vecino de Santa Cruz y la abuela materna á quienes advertí el parentesco espiritual y obligación de enseñarle la Doctrina Cristiana. Testigos: Francisco Jura, profesión exclaustrado y Pascual Sanz [indescifrable], naturales y vecinos de esta Ciudad, de que certifico: Francisco Alfaro». (Transcripción de una copia de la partida de bautismo original de Rafael Guastavino Moreno fechada el 31 de agosto de 1920).

6. Pierre-Marie Guastavino, *Les Guastavino. Une familie Gênoise et d'Oltregiogo*. Valencia: Archivo privado de Carlos Donderis Guastavino, 121. Estudio inédito de la genealogía de la familia Guastavino.
7. «En arquitectura, lo mismo que en el arte musical, es más necesario crear por grados los elementos indispensables, que en escultura ó en pintura, porque en estas últimas el artista es por sí mismo el ejecutor directo, mientras que en música ó arquitectura tiene necesidad de ejecutantes que sean el medio á favor del cual pueda presentar sus ideas al público [...]. Es evidentemente necesario que los jóvenes arquitectos se hallen en íntimo contacto con todos esos elementos por un sistema de estudio semejante al seguido en las academias de música; es decir, estudiando la teoría y la práctica bajo la dirección de la academia...». Rafael Guastavino Moreno, *Prolegómenos a las funciones de la mampostería en las modernas construcciones arquitectónicas*. Biblioteca Nacional de Madrid, 11–12. Texto en castellano sin fecha, (prólogo firmado en Nueva York en noviembre de 1895).
8. Transcripción de la partida de bautismo original de Rafael Guastavino Moreno de 31 de agosto de 1920 y de un árbol genealógico de 1926 (AG I). Pierre-Marie Guastavino aporta sin embargo la variante María Josefa Esfrau en vez de María Josefa Ebri.
9. Datos de un árbol genealógico manuscrito (AG II) realizado en los años setenta del siglo XX. Archivo de Carlos Donderis Guastavino, Valencia.
10. Jaume Rosell afirma que José Nadal era inspector de obras públicas citando el mecanoscrito inédito de Rafael Guastavino Seidel. Jaume Rosell i Colomina, «Rafael Guastavino i Moreno: enginy en l'arquitectura del segle XIX» en *Ciència i Tècnica als Països Catalans: una aproximació biogràfica*. Barcelona: Fundación Catalana per la Recerca (1995): 496 [publicado en castellano en el presente libro]. Un árbol genealógico de la Familia Guastavino fechado en el año 1926 (AG I) (Archivo privado de Desamparados Guastavino, Valencia), probablemente elaborado en los Estados Unidos a juzgar por la ortografía y la toponimia anglógena, elabora la rama materna de los Moreno de Torreblanca y afirma que José Nadal fue arquitecto y estaba emparentado por línea materna con Rafael Guastavino. Una hija de José Nadal habría casado con N. Ebri y, a su vez, una hija de este matrimonio con G. Moreno, que serían los abuelos maternos de Rafael Guastavino. Si José Nadal fue su tatarabuelo, resulta improbable que se hayan conocido personalmente, y que le recomendara para la entrada en un despacho. A juzgar sin embargo por algunos errores e imprecisiones del árbol genealógico, se podría pensar sin embargo en la veracidad de una relación de parentesco mal transcrita sin embargo por la distancia y el olvido. Por otra parte, se tiene constancia del ingreso en la Real Sociedad Económica de Amigos del País de Valencia, donde se distinguía muy claramente la profesión de cada uno de los socios y si éstos eran rentistas o profesionales, de un hacendado de nombre José Nadal el 18 de noviembre de 1840. Véase Registro de S.S. Socios Numerarios y corresponsales con su Índice, Archivo de la RSEAPV. Considerando que el apellido Nadal no es demasiado común en Valencia en aquella época, se puede suponer que sea el mismo benefactor que recomendó a Rafael Guastavino para su primer trabajo, pero surgen dudas sobre su personalidad y su verdadera profesión.
11. Pierre-Marie Guastavino, *Les Guastavino*. 121.
12. «Necrológica de D. Rafael Guastavino», *Diario Las Provincias* (miércoles 11 de mayo de 1908): páginas centrales.
13. Miguel García Lisón y Arturo Zaragozá Catalán citan fuentes verbales para datar su origen en su forma actual a mediados del siglo XIX. Miguel del Rey Aynat proporciona un gran número de ejemplos de arquitectura vernácula con bóveda en el mediterráneo, entre los cuales, existen otros casos en comarcas de la provincia de Alicante. En cualquiera de los dos casos, resulta válida la hipótesis de que Rafael Guastavino haya conocido estas arquitecturas vernaculares con bóveda tabicada durante su juventud. Miguel García Lisón, Arturo Zaragozá Catalán, *Arquitectura rural primitiva en secà*. Valencia: Generalitat Valenciana, 2000, 61–63; o también Miguel del Rey Aynat, *Arquitectura Rural Valenciana. Tipos de casas y análisis de su arquitectura*. Valencia: Generalitat Valenciana, 1998, 109–112 y 122–123.
14. Para una lista detallada de los conventos y templos demolidos durante aquellos años en la ciudad de Valencia y de las características físicas de su construcción, véase Fernando Pingarrón, *Arquitectura Religiosa del siglo XVII en la ciudad de Valencia*. Valencia: Ayuntamiento de Valencia, 1998.
15. Manuel Fornés y Gurrea, *El arte de edificar*. Madrid: Ediciones Poniente, 1982. Edición facsímil con introducción de Antonio Bonet Correa. Se trata de un facsímil del original de la segunda edición que incluye *Observaciones sobre la práctica del arte de edificar* (1857) y las *Ordenanzas de Madrid* (1857), e incorpora el *Álbum de proyectos originales de arquitectura* (1846). El libro se publicó gracias a la gentileza del arquitecto Luis Moya, que cedió de su biblioteca los ejemplares necesarios para la reproducción de las obras. Si el arquitecto Fornés fue verosímilmente el origen primitivo de las bóvedas tabicadas de Guastavino y, como es sabido, Luis Moya tuvo acceso

a información procedente de la Compañía Guastavino y se constituyó en epígono de su influencia en España, la publicación de este facsímil posee la virtud de cerrar un círculo de ciento cincuenta años de historia.

16. Luigi Ramazzotti, «La cupola per St. John the Divine di Rafael Guastavino», *Lo specchio del cielo*, Roma, 1997, 277–291. Véase la traducción al castellano de este artículo en el presente catálogo: «La cúpula para San Juan el Divino de Nueva York de Rafael Guastavino».
17. Manuel Sanchís Guarner, *La Ciutat de València*. 481.
18. Francesc-Andreu Martínez Gallego, *Desarrollo y crecimiento. La industrialización valenciana 1834–1914*. Valencia: Generalitat Valenciana, Conselleria d'Indústria, Comerç i Turisme, 1995, 174.
19. Francisco Agramunt Lacruz, «La definitiva recuperación de Rafael Guastavino Moreno, el arquitecto valenciano de mayor proyección del siglo XIX», *Boletín del Museo e Instituto Camón Aznar*, 74 (1998): 46.
20. Véase: «Notas de Sociedad», *Diario Las Provincias* (jueves 28 de marzo de 1912).
21. Jaume Rosell i Colomina, «Rafael Guastavino i Moreno», 498.
22. «Rafael Guastavino, Barcelona, Modéle d'une maison», *Exposition Universelle a Vienne 1873, Catalogue Géneral de la Section Espagnole, 25 Groupe Beaux-Arts, nº 11 (3324)*. Vienne: Edition du Commisariat d'Espagne (1873): 151.
23. «Departamento IV. Arte. Apartado: Dibujos industriales y de arquitectura, modelos y decoraciones. Clase 441, nº 114. Guastavino (D. Rafael), Barcelona, Planos arquitectónicos y memoria», *Exposición Internacional en Filadelfia de 1876. Comisión General Española. Lista de Expositores*. Madrid: Imprenta de T. Fortanet (1876): 115.
24. Jaume Rosell i Colomina, «Rafael Guastavino i Moreno», 503.
25. Luis Calvo Teixeira, *Las Exposiciones Universales. El mundo en Sevilla*, Barcelona: Ed. Labor, 1992, 12.
26. «...trata de conmemorar el hecho glorioso que constituye la página más brillante de la historia española...» Véase Real Decreto de 21 de abril de 1892: «Creación de la Comisión general española para la Exposición Universal de Chicago», Capítulo 1, 1.
27. Real Orden del 7 de enero de 1893.
28. Real Decreto de 17 de enero de 1893.
29. Juan Navarro Reverter, *Del Turia al Danubio: Memoria de la Exposición Universal de Viena*, Valencia: J. Domènech, 1875.
30. Datos del Archivo privado de Enrique Dupuy de Lome Sánchez-Lozano, nieto de Enrique Dupuy de Lome y Paulín
31. Manuel Sanchís Guarner, *La Ciutat de València*. 468.
32. Inmaculada Aguilar Civera, «El orden industrial en la ciudad. Valencia en la segunda mitad del siglo XIX», *Història local* 5, Valencia: Diputació de València (1990), 67-68.
33. Arturo Zaragozá Catalán, «Modos de construir en la Valencia medieval: bóvedas», *Historia de la Ciudad*. 76–88.
34. Halsey C. Ives (prólogo), *The Dream City. A Portfolio of Photographic Views of the World's Columbian Exposition*. St. Louis, Missouri: N.D. Thompson Publishing Co., 1893, «Spanish Building», sin paginar. Mª José Bueno Fidel interpreta de manera equivocada las dimensiones del pabellón, ya que multiplica los pies que aporta Ives por el pie castellano (0,2786 m) en lugar del pie anglosajón (0,3048 m). Compárese con Mª José Bueno Fidel, *Arquitectura y nacionalismo. Pabellones españoles en las Exposiciones Universales del siglo XIX*. Málaga: Universidad de Málaga, Colegio de Arquitectos, 1987, 86.
35. Mª José Bueno Fidel, *Arquitectura y nacionalismo*. 86.
36. Exposition's Commissioner, *A History of the World's Columbian Exposition*, 2. New York: Rossiter Johnson, 1897–1898, 429; Mª José Bueno Fidel, *Arquitectura y nacionalismo*. 86–87; y «La Exposición de Chicago», *Diario Las Provincias* (13 de junio de 1893): en portada.
37. Arturo Zaragozá Catalán, «Arquitectura gótica valenciana, siglos XIII-XV», *Monumentos de la Comunidad Valenciana, Catálogo de monumentos y conjuntos declarados e incoados* 1, Valencia: Generalitat Valenciana, Conselleria de Cultura i Educació (2000): 164.
38. Manuel Jesús Ramírez Blanco, «Sobre las intervenciones en la Lonja de Valencia. Su conservación – sus conservadores», *La Lonja, un monumento del II milenio para el III milenio*, Valencia: Ajuntament de València, Fundación Valencia III Milenio (2000): 119
39. La planta baja de la torre de la Lonja albergó tradicionalmente una pequeña capilla y por ello, su ventana al exterior poseía unas vidrieras policromadas, hoy desaparecidas y sustituidas por otras. La verdadera novedad estriba en la colocación de vidrieras policromadas en el espacio que remedaba el Salón de Contratración, que constituye un espacio netamente comercial.
40. John Mc Govern, *A portfolio of photographic views of the World's Columbian Exposition*. Chicago: John Mc Govern, 1894, sin paginar, citado por Mª José Bueno Fidel, *Arquitectura y nacionalismo*. 87–88.
41. Véase «Arqueología Valenciana», *Almanaque del Diario Las Provincias del año 1893*, Valencia (1894): 257.
42. Mª José Bueno Fidel, *Arquitectura y nacionalismo*. 41.
43. Darío Fernández-Flórez Formica-Corsi, *La arquitectura ecléctica urbana de la Valencia de finales del siglo XIX (1875–1900)*, Valencia: Universidad Politécnica, 1988, 49. Tesis Doctoral inédita. Véase también Daniel Benito Goerlich, *La arquitectura del eclecticismo en Valencia*. Valencia: Excmo. Ayuntamiento de Valencia, 1983, 25–26.
44. Obtuvo «Sobresaliente» en la asignatura Historia y Teoría de las Bellas Artes, lo cual demuestra su interés personal. Véase Joan Bassegoda Nonell, «Els estudis de Guastavino», *L'Estudi de Gaudí, Selecció d'articles publicats a la revista TEMPLE entre 1971 i 1994*, Barcelona: Temple Expiatori de la Sagrada Família (1996): 347.
45. Rafael Guastavino Moreno, *Prolegómenos a las funciones de la mampostería en las modernas construcciones arquitectónicas*. 19.
46. Mª José Bueno Fidel, *Arquitectura y nacionalismo*. 42-44.
47. Claude Mignot, *Architecture of the 19th Century*, Fribourg: Office du Livre, 1983; Köln: Taschen, 1994.

48. R. Guastavino Seidel, *The Guastavino family*, 1970. 16. Mecanoscrito inédito.
49. Rafael Guastavino Moreno, *Prolegómenos*, 59.
50. Fernando Vegas López-Manzanares, *La arquitectura de la Exposición Regional Valenciana de 1909 y de la Exposición Nacional de 1910*, Valencia: Universidad Politécnica, 2000, 608. Tesis doctoral inédita.
51. «Art Building at St. Louis Exposition, St. Louis, Mo. Cass Gilbert, Architect. Barrel vault 60' span with repressed unglazed soffit course», en Rafael Guastavino Expósito, *Constructed by R. Guastavino Co.*, Catálogo comercial de las obras de Guastavino Co, sin título, sin fecha (publicado después de 1917), sin paginar. La Exposición de Sant Louis se caracterizó por la abundancia de sus pabellones abovedados y la profusión de sus cúpulas, entre las cuales destacaba la cúpula del Palacio de Fiestas, cuyo diámetro se quiso mayor que el de la cúpula de San Pedro de Roma. No tenemos datos para afirmar que Guastavino construyera ninguna de estas bóvedas o cúpulas, pero cabe suponer que, si hubiera construido una obra de tales dimensiones, habría sido notoria su participación, de la misma manera que es conocida su cúpula para la Catedral de San Juan el Divino.
52. Rafael Guastavino Moreno, *Prolegómenos*. 5.
53. Rafael Guastavino Moreno, *Prolegómenos*. 24–27.
54. Manuel Fornés y Gurrea, *El arte de edificar*, 19.
55. Manuel Fornés y Gurrea, *El arte de edificar*. 118.

Bibliografía

AAVV, *Huella del tiempo. Aspectos etnográficos de la Colección Díaz-Prósper, Museu d'Etnologia, Valencia*. Centre Cultural La Beneficència, Diputació Provincial de València, 1997.

AAVV, *Memoria de la luz. Fotografía en la Comunidad Valenciana 1839–1939*. Valencia: Conselleria de Cultura, Educació i Ciència, Lunwerg Editores S.A., 1992.

AAVV, *Historia de la Ciudad. Recorrido histórico por la arquitectura y el urbanismo de la ciudad de Valencia*. Valencia: Colegio Oficial de Arquitectos de la Comunidad Valenciana. Edición de S.Dauksis y F.Taberner, 2000.

AAVV, *Historical maps of the town of Valencia. 1704–1910*. Valencia: Valencia City Council, 1985.

Agramunt Lacruz, Francisco. «La definitiva recuperación de Rafael Guastavino Moreno, el arquitecto valenciano de mayor proyección del siglo XIX» *Boletín del Museo e Instituto Camón Aznar* 74 (1997): 5–32.

Aguilar Civera, Inmaculada. «El orden industrial en la ciudad. Valencia en la segunda mitad del siglo XIX» *Historia local* 5, Valencia: Diputació de Valencia (1990).

Árbol genealógico manuscrito de 1926 (AG I). Archivo privado de Desamparados Guastavino, Valencia.

Árbol genealógico manuscrito realizado en los años setenta del siglo XX (AG II). Archivo de Amparo Guastavino, Valencia.

«Arqueología Valenciana» *Almanaque del Diario Las Provincias del año 1893* ,Valencia (1894): 257.

Bassegoda Nonell, Joan. «Els estudis de Guastavino» *L'Estudi de Gaudí, Selecció d'articles publicats a la revista TEMPLE, 1971–1994*, Barcelona: Temple Expiatori de la Sagrada Familia (1996).

Benito Goerlich, Daniel. *La arquitectura del eclecticismo en Valencia*. Valencia: Excmo. Ayuntamiento de Valencia, 1983.

Bosch Reig, Ignacio. *Recuperación integral de la basílica de la Virgen de los Desamparados de Valencia*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 1994.

Bueno Fidel, Mª José. *Arquitectura y nacionalismo. Pabellones españoles en las Exposiciones Universales del siglo XIX*. Málaga: Universidad de Málaga, Colegio de Arquitectos, 1987.

Calvo Texeira, Luis. *Las Exposiciones Universales. El mundo en Sevilla*. Barcelona: Editorial Labor, 1992.

del Rey Amat, Miguel. *Arquitectura Rural Valenciana. Tipos de casas y análisis de su arquitectura*. Valencia: Generalitat Valenciana, 1998.

Exposición Internacional en Filadelfia de 1876. Comisión General Española. Lista de Expositores. Madrid: Imprenta de T. Fortanet, 1876.

Exposition Universelle a Vienne 1873, Catalogue géneral de la section espagnole. Vienne: Edition du Commisariat d'Espagne, 1873.

Exposition's Commissioner, *A history of the World's Columbian Exposition* 2. New York: Rossiter Johnson, 1897–1898.

Fernández-Flórez Formica-Corsi, Darío. *La arquitectura ecléctica urbana de la Valencia de finales del siglo XIX (1875–1900)*. Valencia: Universidad Politécnica, 1988. Tesis Doctoral inédita.

Ferrere Soler, Luis. «La Lonja» *Archivo de Arte Valenciano* (1921): 51–71.

Fornés y Gurrea, Manuel. *El arte de edificar*. Madrid: Ediciones Poniente, 1982. Edición facsímil con introducción de Antonio Bonet Correa.

García Lisón, Miguel y Arturo Zaragozá Catalán. *Arquitectura rural primitiva en secà*. Valencia: Generalitat Valenciana, 2000.

Gómez Acebes, Alfredo. «Rafael Guastavino, de Valencia a Nueva York» *Arquitectura Técnica* 7, 2ª Época (septiembre 1990): 43–47.

Guastavino Expósito, Rafael. *Constructed by R. Guastavino Co*. Catálogo comercial de las obras de Guastavino Co, sin título, sin fecha (publicado después de 1917), sin paginar (GE).

Guastavino Moreno, Rafael. *Prolegómenos a las funciones de la mampostería en las modernas construcciones arquitectónicas*. Texto en castellano sin fecha, (prólogo firmado en New York, noviembre 1895), Biblioteca Nacional de Madrid.

Guastavino Seidel, Rafael. *The Guastavino family*. 1970. Mecanoscrito inédito.

Guastavino, Pierre-Marie. *Les Guastavino. Une familie Gênoise et d'Oltregiogo*. Estudio inédito de la genealogía de la familia Guastavino. Archivo privado de Amparo Guastavino, Valencia.

Ives, Halsey C. (prólogo), *The dream city. A portfolio of pho-*

tographic views of the World's Columbian Exposition. St. Louis, Missouri N.D. Thompson Publishing Co. 1893.

«La Exposición de Chicago», *Diario Las Provincias*, Valencia (13 de junio de 1893): en portada.

Martínez Gallego, Francesc-Andreu. *Desarrollo y crecimiento. La industrialización valenciana 1834–1914*. Valencia: Generalitat Valenciana, Conselleria d'Indústria, Comerç i Turisme, 1995.

Mc Govern, John. *A portfolio of photographic views of the World's Columbian Exposition*. Chicago: John Mc Govern, 1894.

Middleton, Robin y David Watkin. *Architettura dell'Ottocento*. Milano: Electa, 1988.

Mignot, Claude. *Architecture of the 19th Century*. Fribourg: Office du Livre, 1983; Köln: Taschen, 1994.

Navarro Reverter, Juan. *Del Turia al Danubio: Memoria de la Exposición Universal de Viena*, Valencia: J. Domenech, 1875.

«Necrológica de D. Rafael Guastavino» *Diario Las Provincias*, Valencia, (miércoles 11 de mayo de 1908): páginas centrales.

«Notas de Sociedad» *Diario Las Provincias*, Valencia, (jueves 28 de marzo de 1912).

Pingarrón, Fernando. *Arquitectura Religiosa del siglo XVII en la ciudad de Valencia*. Valencia: Ayuntamiento de Valencia, 1998.

Ramazzotti, Luigi. «La cupola per St. John the Divine di Rafael Guastavino» *Lo specchio del cielo*. Roma (1997): 277–291. Véase la traducción al castellano de este artículo en el presente libro: «La cúpula para San Juan el Divino de Nueva York de Rafael Guastavino».

Ramírez Blanco, Manuel Jesús. «Sobre las intervenciones en la Lonja de Valencia. Su conservación – sus conservadores», *La Lonja, un monumento del II milenio para el III milenio*. Valencia: Ajuntament de València, Fundación Valencia III Milenio, 2000.

Real Decreto de 21 de abril de 1892, Consejo de Ministros, Madrid.

Real Decreto de 17 de Enero de 1893, Consejo de Ministros, Madrid.

Real Orden del 7 de Enero de 1893, Consejo de Ministros, Madrid.

Rosell i Colomina, Jaume. «Rafael Guastavino i Moreno: enginy en l'arquitectura del segle XIX» *Ciència i Tècnica als Països Catalans: una aproximació biogràfica*. Barcelona: Fundación Catalana per la Recerca (1995). Véase la traducción al castellano de este artículo en el presente libro: «Rafael Guastavino Moreno. Ingenio en la arquitectura del siglo XIX».

Sanchis Guarner, Manuel. *La Ciutat de València. Síntesi d'-Historia i de Geografia urbana*. Valencia: Sisena Edició, Ajuntament de Valencia, 1997.

Soler Verdú, Rafael. *La cúpula en la arquitectura moderna valenciana. Siglos XVI a XVIII. Metodologías de estudios previos para las arquitecturas de sistemas abovedados*. Valencia: Universidad Politécnica, 1995. Tesis doctoral inédita.

Transcripción de una copia de la partida de bautismo original de Rafael Guastavino Moreno fechada el 31 de agosto de 1920.

«Valencianos sobresalientes. Nuestros arquitectos. D. Rafael Guastavino» *Diario Las Provincias*. Valencia (martes 20 de septiembre de 1898).

Vegas López-Manzanares, Fernando. *La arquitectura de la Exposición Regional Valenciana de 1909 y de la Exposición Nacional de 1910*. Valencia: Universidad Politécnica, 2000. Tesis doctoral inédita.

Zaragozá Catalán, Arturo. «Arquitectura gótica valenciana, siglos XIII-XV» *Monumentos de la Comunidad Valenciana, Catálogo de monumentos y conjuntos declarados e incoados* 1, Valencia: Generalitat Valenciana, Conselleria de Cultura i Educació (2000).


Catálogo de la exposición

En el presente «Catálogo de la exposición» se recogen los textos e imágenes de la exposición *Guastavino & Co. La reinvención de la bóveda*. Los textos son todos del Comisario de la exposición, Javier García-Gutiérrez Mosteiro. Los títulos y divisiones se corresponden con los de los paneles de la exposición; únicamente se han agrupado los paneles del mismo título.

La selección de imágenes realizada para la exposición estuvo, necesariamente, limitada por el número de paneles y su enfoque divulgativo. Dada la enorme riqueza documental del Archivo Guastavino y habiendo menos problemas de espacio en el presente libro, se decidió incluir en los apartados correspondientes imágenes adicionales, tomadas principalmente del Archivo Guastavino, que no aparecían en los paneles. Éstas aparecen marcadas con un asterisco al comienzo del título. La selección de imágenes a añadir fue realizada por el editor, Santiago Huerta, y Esther Redondo Martínez.

Algunas imágenes se han reproducido ampliadas como Láminas en el siguiente apartado de *Álbum*. La selección ha sido realizada por el editor y, de alguna forma, refleja sus intereses. En general, se han reproducido aquellas imágenes que requerían un mayor tamaño, como los planos de construcción. También algunas fotos de procesos constructivos suministran una información muy valiosa sobre los métodos empleados. Finalmente, otras se han seleccionado, sencillamente, por su impacto visual.

FUENTE DE LAS ILUSTRACIONES

AVL: Avery Library, Universidad de Columbia. CG: Cátedra Gaudí. ST: Salvador Tarragó Cid/Hirao Suzuki. AHDB: Archivo Histórico de la Diputación de Barcelona. COAC: Colegio Oficial de Arquitectos de Cataluña. Demarcación de Barcelona. AMAB: Archivo Municipal Administrativo de Barcelona. JO: John Ochsendorf. ESM: Estudio de arquitectura de Ignasi Solá-Morales. EFM: F. Bermejo/P. Mónaco/F. Capilla, 1986. AT: A.Truñó, COAC. JP: Janet Parks. DL: Daniel Lane. JPA:J.P.Adam, 1984. JM: J. Martorell, 1910. SA: Scientific American. EAB: E.T.S. de Arquitectura de Barcelona. BN: Biblioteca Nacional de España. RB: Rafaelo Bencini. JM: Javier García-Gutierrez Mosteiro. ER: Esther Redondo Martínez. GL: Gema López Manzanares. LS: Loryn Sheffner. LB: L. Benévolo.

Orígenes y formación
La obra en Cataluña

Rafael Guastavino Moreno nació en Valencia en 1842. En 1861 se trasladó a Barcelona para comenzar los estudios en la Escuela Especial de Maestros de Obras. Esta Escuela —que enseguida sería suspendida para dar paso a la nueva Escuela de Arquitectura— desempeñó un importante papel en la conformación arquitectónica de Barcelona; en ella tuvo por profesores a Juan Torras y Elías Rogent (el que sería luego primer director de la Escuela de Arquitectura), con quienes conoció —aún en estado embrionario— el sistema de bóvedas tabicadas que más adelante desarrollaría.



Rafael Guastavino Moreno, ca. 1880. (Valencia, 1842 Asheville, Carolina del Norte, 1908). AVL



Alumnos de la Escuela de Maestros de Obras de Barcelona, curso 1861-1862. Guastavino, sentado y segundo por la izquierda en primera fila. CG



Juan Torras i Guardiola (1828-1910). Profesor de Guastavino en la Escuela de Maestros de Obras de Barcelona y gran impulsor de nuevas técnicas constructivas, tuvo mucha influencia en éste. ST



Rafael Guastavino Expósito, ca. 1925. (Barcelona, 1871 Bayshore, Nueva York, 1950). AVL



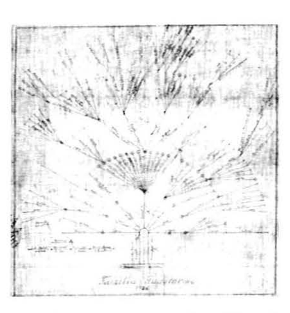
Elías Rogent i Amat (1821-1897). Director de la Escuela de Maestros de Obras de Barcelona durante la época en que Rafael Guastavino y Moreno cursó estos estudios. ST



Casa en la que Guastavino vivió sus últimos años, y en la que murió en 1908 Black Mountain, Carolina del Norte. AVL



Edificio que Guastavino construyó como vivienda propia en 1872. Barcelona, c/ Lauria c/v Aragon (demolida hacia 1980). En esta construcción utilizó bóvedas tabicadas empleando cemento portland importado de Inglaterra, ya que en España todavía no se fabricaba. AVL



Árbol genealógico de la familia Guastavino. Realizado por uno de los bisnietos de Rafael Guastavino Moreno. AVL

El hito de la Fábrica Batlló

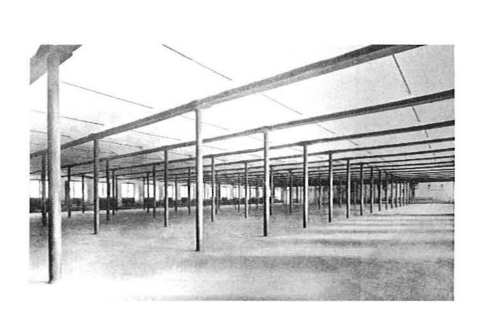
El rápido crecimiento industrial de Cataluña en la segunda mitad del XIX requería, para los grandes edificios fabriles, un sistema constructivo que conjugara la economía con la seguridad contra incendios. El logro de Guastavino fue el de recurrir a un procedimiento vernáculo, profusamente empleado en la arquitectura popular catalana, cual es el de las bóvedas tabicadas, y, mediante la incorporación de materiales actuales, convertirlo en moderno sistema constructivo y desarrollarlo hacia otros horizontes. Ya en 1868, con su proyecto para la fábrica textil Batlló de Barcelona, había planteado Guastavino lo que iba a constituir esa revolución técnica y tipológica. La sala de telares, cubierta por series de bóvedas vaídas sobre soportes metálicos, fue el primer paso de la incorporación de la llamada por Guastavino construcción cohesiva a un nuevo tipo de la arquitectura industrial. En el edificio principal investigó con otras clases de bóvedas tabicadas; entre ellas, las bóvedas cilíndricas atirantadas —sobre vigas de madera y soportes metálicos— que cubren otras grandes naves, y la que conforma el espectacular desarrollo continuo de una escalera de rellanos apechinados.



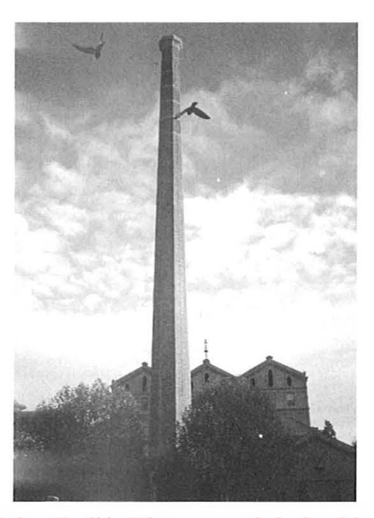
Fábrica Batlló, Barcelona, 1868-70. Rafael Guastavino Moreno. Vista aérea del conjunto, ocupando cuatro manzanas del ensanche barcelonés AVL



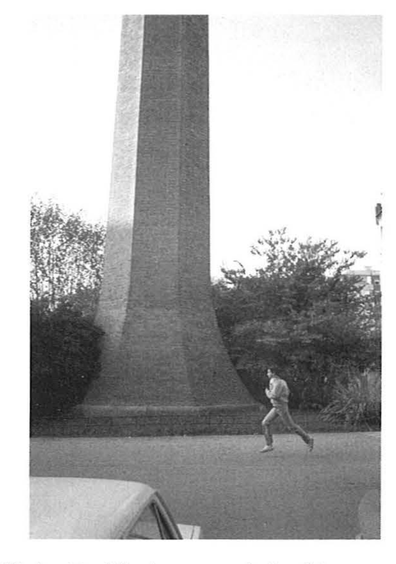
Fábrica Batlló. Sala de telares, cubierta por bóvedas vaídas tabicadas, apoyadas en cuatro arcos y atirantadas. AHDB [Lámina 1]



Fábrica Batlló. Bóvedas cilíndricas entre vigas, atirantadas, en los edificios de pisos. AVL



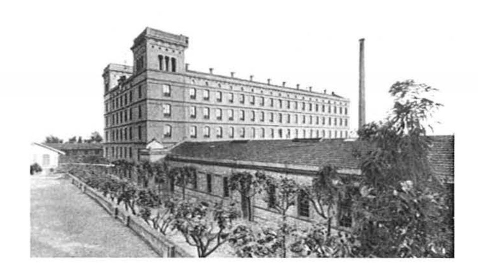
Fábrica Batlló. Vista general de la chimenea, construida en ladrillo, con una altura de 60 m. ST



Fábrica Batlló. Arranque de la chimenea de base octogonal. ST



Fábrica Batlló. Escalera construida con bóveda tabicada continua (empechinada). ST



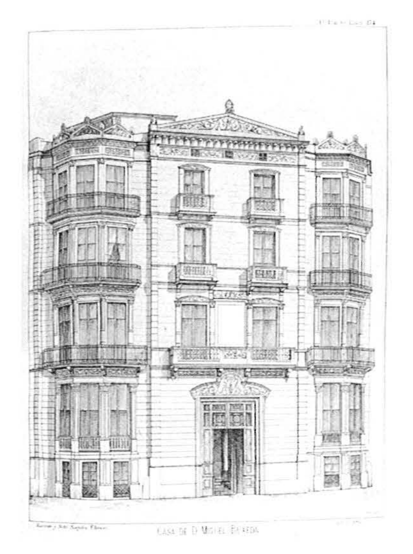
Fábrica Batlló. Vista exterior del edificio principal. AVL



Fábrica Batlló. Sala de telares. En esta fotografía, en la que aparece la nave compartimentada, se aprecia el óculo de las bóvedas para iluminación cenital. AVL

La andadura catalana

En su carrera profesional en Cataluña, desde 1866 hasta 1880, Guastavino simultaneó el ejercicio como arquitecto con el de constructor, realizando buen número de edificios residenciales e industriales, en los que fue experimentando el uso de las bóvedas tabicadas. En ese periodo fue principal artífice de la modernización del sistema, caracterizando —junto a Juan Torras Guardiola (1828-1910)— el período de constitución de la bóveda tabicada moderna. El cemento portland, comercializado desde mediados de siglo, es el agente fundamental del cambio llevado a cabo por Guastavino: a su resistencia y rapidez de fraguado atribuía la capacidad resistente —hasta entonces no imaginada— de las bóvedas cohesivas. A esta renovación colaboraron también otros factores: el perfeccionamiento y aligeramiento del material cerámico, la combinación del sistema de bóvedas con elementos metálicos (ya para el contrarresto de empujes, ya como apoyos —jácenas, pies derechos—), así como las nuevas exigencias funcionales, estructurales y de resistencia al fuego.



Casa Miguel Buxeda. Barcelona, 1866. COAC



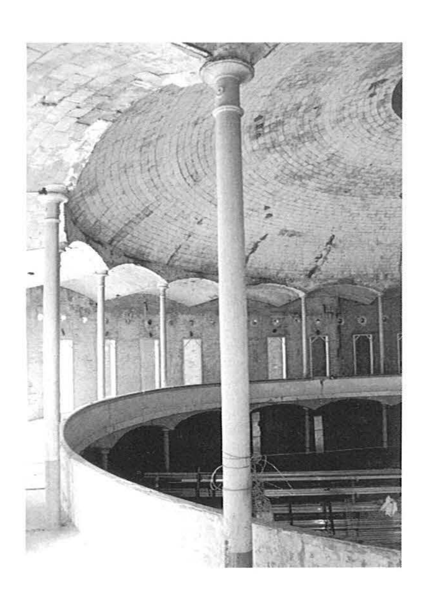
Casa Víctor Blajot. Barcelona, 1871. Paseo de Gracia, 32. ST



Casa Cámil Juliá. Barcelona, 1872-74. Paseo de Gracia, 150/2. AVL

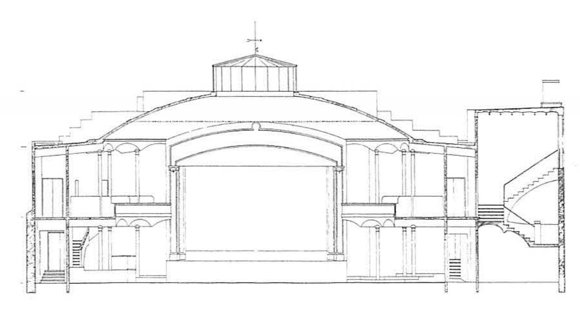


Teatro del centro cultural La Massa. Villassar de D'Alt, Barcelona, 1880. Esta cúpula, un casquete esférico de casi 20 m de luz, fue su última obra antes de marchar a Nueva York. CG

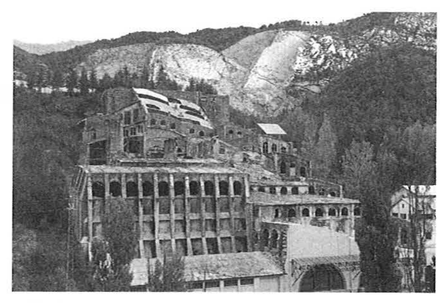




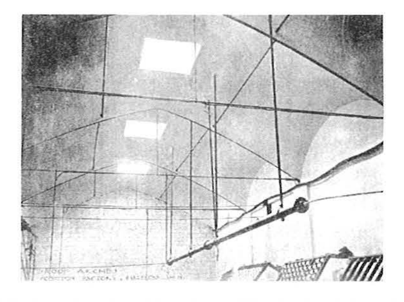
Teatro del centro cultural La Massa. Vista interior. ESM



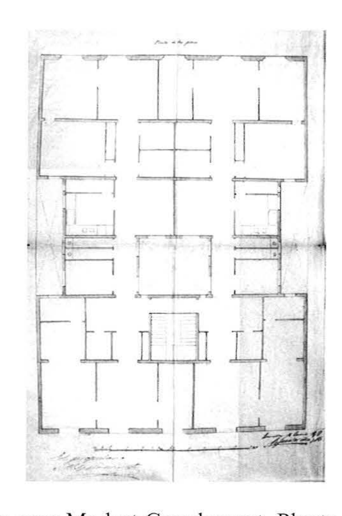
Teatro del centro cultural La Massa. Sección transversal. CG



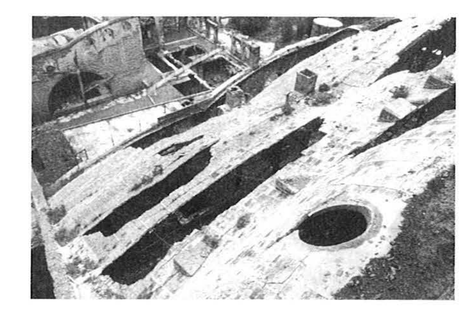
Fábrica de cemento Asland. La Pobla de Lillet, Lérida, 1900-1902. Este edificio constituyó la primera gran cementera que se fundó en España, construida con bóvedas tabicadas siguiendo las indicaciones que Rafael Guastavino envió desde Estados Unidos. Vista general del estado actual. JO



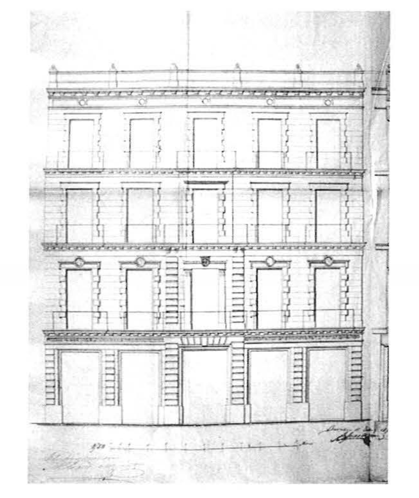
Fábrica de algodón: intradós de las bóvedas atirantadas, que apoyan en vigas metálicas. Barcelona, s.f.



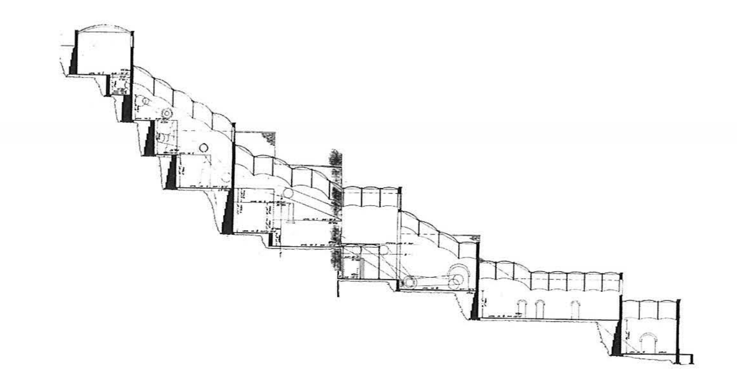
Casa para Modest Casademunt. Planta tipo. AMAB



Fábrica de cemento Asland. Detalle de las bóvedas tabicadas, estado actual. JO



Casa para Modest Casademunt. Barcelona, 1878. C/ Aribau, 3. Fachada principal. AMAB



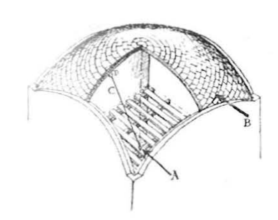
Fábrica de cemento Asland. Sección longitudinal. QA

La vida de una tradición.

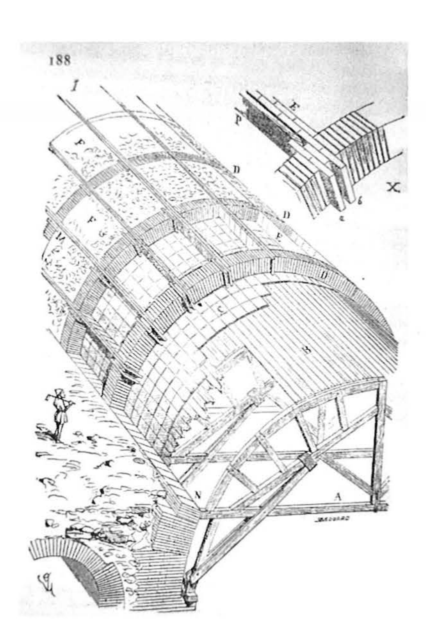
Se llaman bóvedas tabicadas las bóvedas ligeras realizadas con ladrillo puesto de plano, en varias hojas superpuestas, realizadas normalmente sin ayuda de cimbras; las distintas hojas se tienden sobre una primera, que se ejecuta con mortero de rápido fraguado (usualmente yeso) para poder ser levantada en el vacío. Como antecedentes remotos de esta práctica constructiva cabe referirse a las antiguas bóvedas egipcias y de Mesopotamia, que utilizaban ingeniosos procedimientos —luego desarrollados por los bizantinos— para poder prescindir de las costosas cimbras. Más cercanamente, las bóvedas de hormigón romanas se tendían frecuentemente sobre bóvedas tabicadas, con piezas cerámicas puestas de plano, que —entre otras funciones — hacían las veces de encofrado perdido. Fue práctica constructiva habitual en el litoral mediterráneo desde el Medioevo, recibiendo distintas denominaciones: bóveda tabicada (España), volta de maho de pla (Cataluña), voûte plate (Francia), volta à foglio (Italia), rhofa (Argelia)... En España nos consta que se utilizó este sistema desde finales del Medioevo; en la arquitectura popular de regiones como Cataluña y Extremadura —aun con diferentes procedimientos — han perdurado hasta nuestros días. El primer tratado que analizó las bóvedas tabicadas fue Arte y Uso de Arquitectura, de Fray Lorenzo de San Nicolás, escrito en Madrid entre 1663 y 1668. Junto a las ventajas estructurales y constructivas del sistema de bóvedas tabicadas es claro que este uso, basado a la postre en una tradición hondamente arraigada en Cataluña, fuera enseguida esgrimido, dentro de la vigente tendencia europea hacia las arquitecturas nacionales, como una afirmación de los caracteres singulares de la cultura catalana; afirmación particularmente explícita —acaso reforzada por la nueva presencia de una Escuela de Arquitectura en Barcelona — entre los más conspicuos arquitectos del Modernismo.



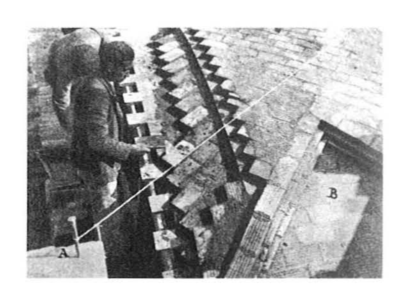
Inicio de la construcción de una bóveda tabicada. Obra sin ninguna estructura auxiliar, a partir de una roza practicada en el muro de arranque. AT



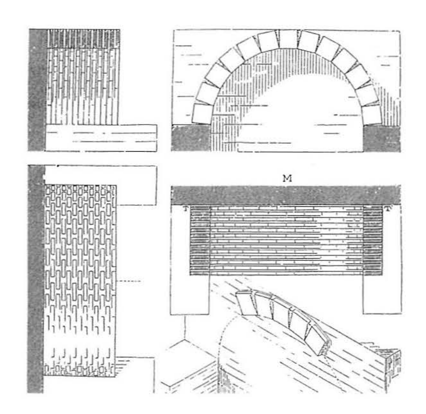
Esquema constructivo de una cúpula tabicada siguiendo aparejo helicoidal Dibujo de Luis Moya Blanco (*Bóvedas tabicadas*, Madrid, 1947). Procedimiento realizado sin empleo de cimbras, mediante un cintrel, hilo de longitud igual al radio de la esfera. LM



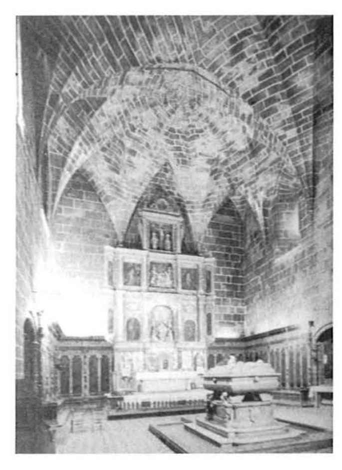
Descripción de la característica bóveda de hormigón romana, con una capa de ladrillos, sentados de plano, que sirven de encofrado perdido al hormigón que se vierte encima. Dibujo de Eugene Viollet-le-Duc (*Dictionnaire raisonnée* Paris, 1874).



Construcción de una bóveda de cañón tabicada de varias hojas Museo de América, Madrid, 1944-1947 (Luis Moya Blanco y Luis M.Feduchi). A la derecha, preparado el replanteo para apertura de un luneto. LM



Sistema para levantar bóvedas sin cimbra ya utilizado en la antigua Mesopotamia y más tarde desarrollado por los bizantinos Dibujo de Auguste Choisy (*L'art de bâtir chez les byzantines*, Paris, 1883).

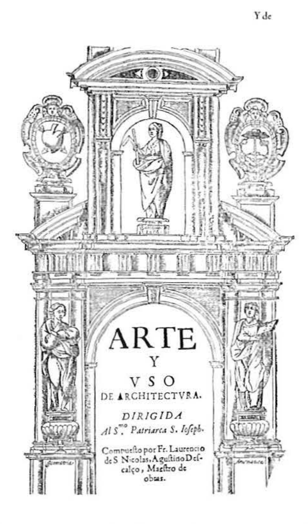


Uno de los primeros registros en España del empleo de bóvedas tabicadas Capilla de los Reyes del convento de Santo Domingo (Valencia), 1437-1457. JPA

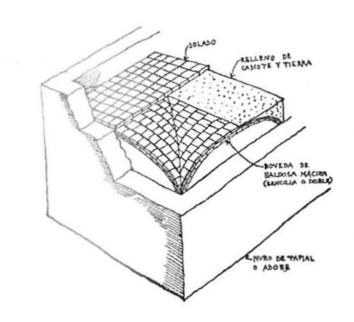
ARTE, Y VSO

mas facil, que es bobedas tabicadas en vn cañon derecho. Sabido ſu aſsiento, y nibel, procuraràs que todas tres bobedas lleuen la buelta de medio punto, porque es la mas firme, y viſtoſa buelta, y de menos peſo, de que tratamos en el cap. 42. y auiendo de ſer rebaxada, ſeguiràs la regla que en el lugar citado dimos, y ſegun ſu buelta, en vna parte llana haràs las cerchas de tablas, por lo menos de dos dellas, para que a trechos la vayas tabicando, y vn trecho cerrado, empeçaràs otro, lleuando trauadas las hiladas como ſi fuera ſilleria, cada hilada de ladrillo de vna parte a otra: aunque tambien puedes echar la hilada ſegun và la buelta, y eſto ſe puede hazer con ſola vna cercha; mas por mejor tengo la que ſe tabica por el aſsiento de vna parte a otra, y aſsi como vayas tabicando, la iràs doblando, y macizando las embecaduras haſta el primer tercio, y eſto ha de ſer en todas las bobedas, echando ſus lenguetas a trechos, que leuanten el otro tercio, para que aſsi reciban todo el empujo, ò peſo de la bobeda. De las lunetas trataremos en ſu lugar. Las cerchas haràs de ſuerte, que queden en dos medias, para que con facilidad las aſsientes y quites. Siendo la bobeda de roſca de ladrillo, requiere cimbras mas fuertes, y las aſſentaràs a trechos, y las quaxaràs de tablas de ſuerte que quede toda la montea igual, y encima iràs ſentando tu roſca, de la ſuerte que ſi fuera vn arco, guardando la eſquadria. Eſtas bobedas de ordinario ſe labran con cal. Si debaxo de tierra hizieres alguna bobeda, podràs hazer la cimbra ſobre la miſma tierra, con vna cercha de la miſma montea que quieres que quede; y vaciada la tierra, quedarà tan perfeta como la paſſada, echando el macizo en las embecaduras, ò enjarjado con ſus lenguetas. Siendo eſta miſma bobeda de canteria, ſentadas las cimbras, repartiràs las dobelas, que ſean en numero nones, para que ſus trauaçones ſean iguales, como ſe demueſtra en la bobeda .A.B.C. repartidas haràs la regla cercha .A.N.O. y con ellas labraràs las dobelas por la ſuperficie concaba .A.N. y el lecho, y ſobrelecho, denota .N.O. y las juntas ſacaràs a eſquadria, de ſuerte que a la viſta eſtèn perpendiculares, trauando vna con otra, y deſta ſuerte quedaràn todas las dobelas bien ajuſtadas, y la bobeda perfeta, ſegun el deſeño lo demueſtra.

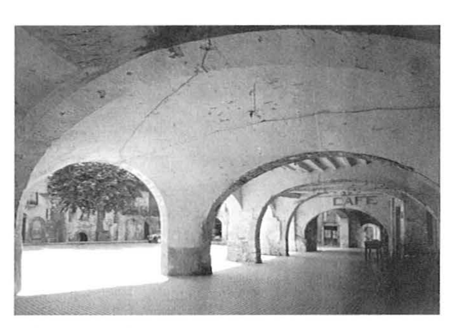
Y de



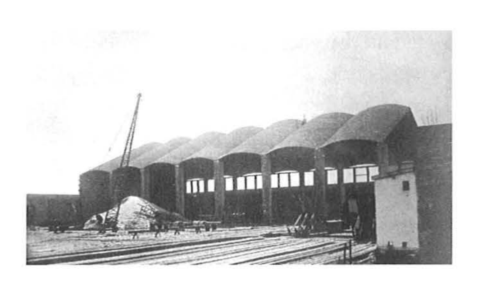
Frontis y texto relativo a la construcción de bóvedas tabicadas del tratado de Fray Lorenzo de San Nicolás *Arte y Uso de Architectura* (Madrid, 1639). Es en este libro se estudian por primera vez de forma sistemática las bóvedas tabicadas. La expresión «bóveda tabicada» aparece ya en varios documentos de finales del siglo XVI (cf. Marías, 1991).

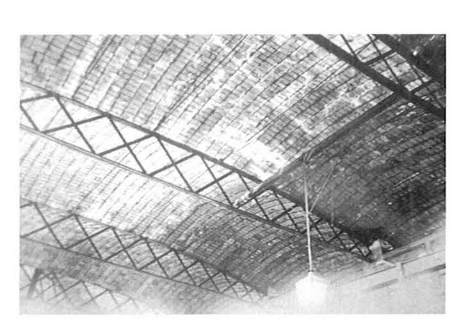


Esquema descriptivo de una bóveda tabicada extremeña. Dibujo de Luis Moya Blanco (*Bóvedas tabicadas*, Madrid, 1947).

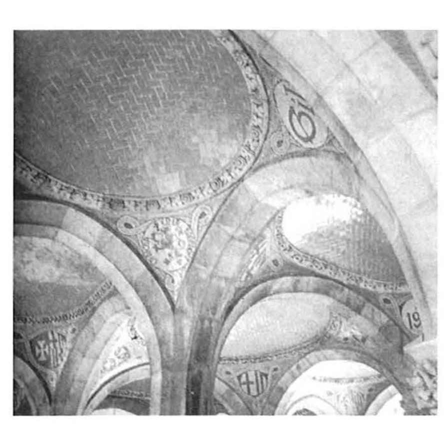


Bóvedas tabicadas en la arquitectura popular catalana. Plaza de Besalú, Gerona. ST

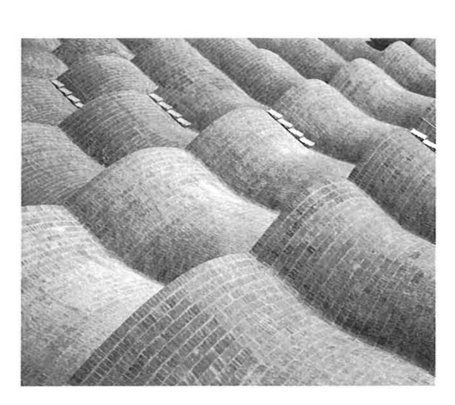


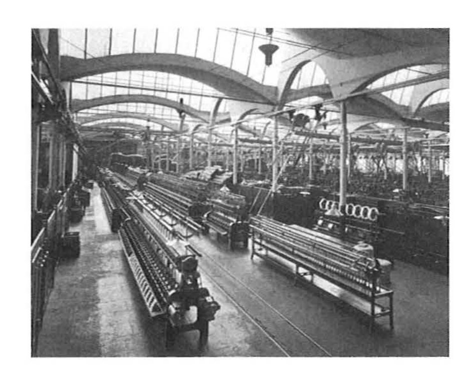


Aplicación de la técnica tabicada a los nuevos espacios fabriles que aparecieron en Cataluña en la segunda mitad del siglo XIX. Edificio industrial en Barcelona (Juan Torras i Guardiola). JM

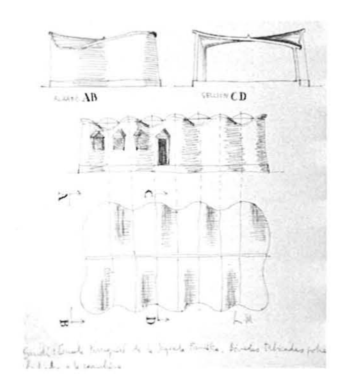


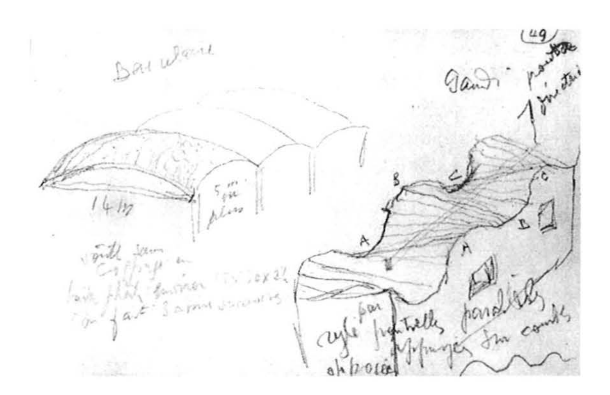
Bóvedas tabicadas en un edificio de carácter monumental del modernismo catalán Hospital de San Pau. Barcelona, 1902-1910 (Lluis Domenech i Montaner).





Sistematización a gran escala de las bóvedas tabicadas en un edificio industrial. Fábrica Aymerich, Amat y Jover. Tarrasa, Barcelona, 1907 (Lluis Muncunill). El particular diseño de la bóveda conjuga las exigencias estructurales con las de iluminación natural y artificial.

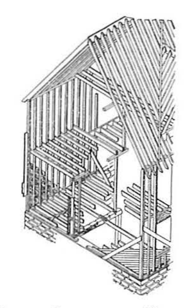




La bóveda tabicada en la arquitectura de Antoni Gaudí. Dibujos de Luis Moya Blanco y Le Corbusier. Escuelas provisionales para la Sagrada Familia. Barcelona, 1909-1910 (Antoni Gaudí y Cornet). El empleo de bóvedas tabicadas fue una característica estructural y formal en la arquitectura de Gaudí. Este pequeño pabellón interesó a muchos arquitectos a su paso por Barcelona.

Encuentro con Nueva York

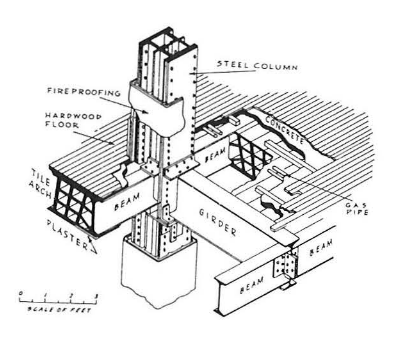
Guastavino comprendió que la sociedad norteamericana, en plena expansión de recursos humanos y materiales, le ofrecía unas expectativas insospechadas. A pesar de la prestigiosa posición profesional que había alcanzado en Cataluña, y de la cuantiosa producción que allí estaba llevando a cabo, decidió optar por la aventura americana. Cuando en 1881 llega a Nueva York encuentra en esta ciudad un panorama en el que se articulan dos hechos significativos que incidirán en su trayectoria: por un lado, la apertura a nuevos materiales constructivos —el cemento portland, el acero laminado, el hormigón— que irían sustituyendo las tradicionales y combustibles estructuras de madera; por otro, contrapuestamente a lo que en esos años está emprendiendo la «Escuela de Chicago», la progresiva implantación del gusto Beaux-Arts, cuya aceptación general en todo el país se conseguiría más tarde (la Exposición Universal Colombina de Chicago de 1893, en la que participaría Guastavino, fue el acontecimiento que materializa ese punto de inflexión). La precaria llegada de Guastavino a EEUU no le permitió inicialmente realizar el tipo de trabajo que había llevado a cabo en España. Así y todo, ya en 1883 había ganado el concurso para el edificio del Progress Club en Nueva York, y había construido algunos edificios de vivienda, en los que empleó programáticamente, como sistema constructivo resistente al fuego, las bóvedas tabicadas.



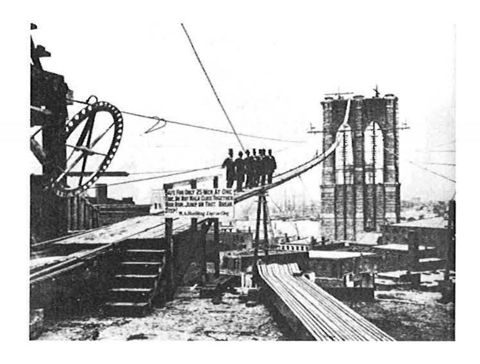
Sistema balloon frame: aplicación del concepto americano de standard a la construcción con madera. Desarrollado por George W. Snow, Chicago, ca.1830. (Dibujo tomado de Singer, *A History of Technology*, 1958). Este sistema de construcción en madera, donde se establece con claridad el concepto de standard, fue ampliamente desarrollado en Chicago con anterioridad al incendio de 1871, desde los primeros decenios del siglo.



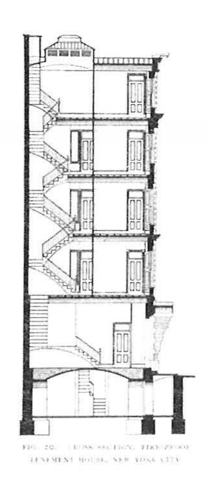
Incendio de Chicago: huida a través del puente Randolph Street (Publicado en el *Harper's Weekly*, sobre un dibujo de J. R. Chapin en 1871). Después del incendio de 1871, que destruyó casi por completo la ciudad, la construcción con elementos incombustibles se convirtió en algo prioritario. Guastavino supo aprovechar el buen comportamiento ante el fuego de las bóvedas tabicadas para implantar su sistema constructivo.

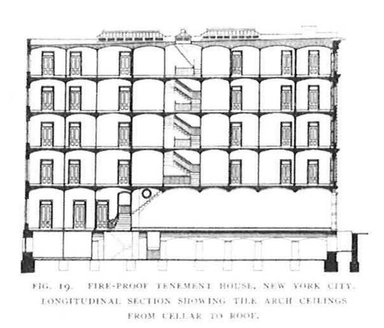


Fair Building, detalle de la estructura metálica protegida del fuego Chicago, 1889 (William Le Baron Jenney). Los edificios de altura de Chicago que sucedieron, tras el incendio, a las antiguas construcciones de madera, fueron posibles gracias al acero; W. Le Baron Jenney desarrolló ampliamente las nuevas estructuras metálicas, revestidas con materiales protectores del fuego. LB



Puente de Brooklyn, Nueva York, 1867-1883 (John A. Roebling). Cuando los Guastavino llegan a Nueva York la imagen de la ciudad se estaba transformando por la incorporación a gran escala de las más modernas tecnologías de la construcción; caso muy representativo, la imponente obra del puente de Brooklyn, que se levantaba en aquellos años. SA

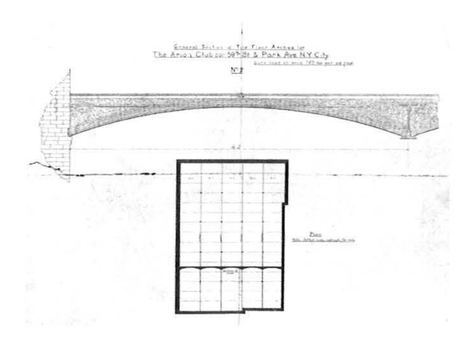




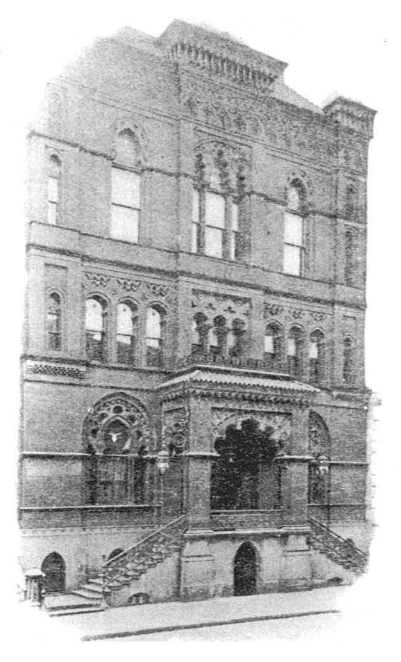
Edificio de apartamentos en Manhattan, Nueva York, 1883 (Guastavino Moreno). Guastavino compró varios solares en el norte de Manhattan, donde construyó dos bloques de apartamentos en los que utilizó bóvedas tabicadas de ladrillo en forjados y escaleras. AVL [Lámina 2]



Edificio para el Arion Club. Manhattan, Nueva York, 1886 (De Lemos& Cordes). Vista exterior. Guastavino se presentó al concurso para proyectar este edificio; aunque no resultó premiado, los arquitectos ganadores le encargaron la construcción de bóvedas tabicadas en distintos espacios. AVL



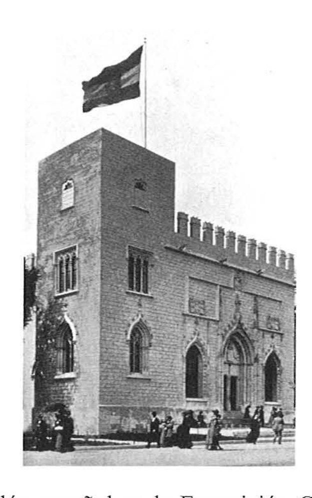
Arion Club. Planta y detalle de las bóvedas construidas por Guastavino. AVL [Lámina 2]



Edificio para el Progress Club de Manhattan, Nueva York, 1883 (Guastavino y Moreno). Este proyecto fue el primer encargo que Guastavino recibió en Estados Unidos como arquitecto. AVL



Viviendas para Bernard Levy en el West Side, Manhattan, Nueva York, 1885 (Guastavino Moreno). Este proyecto fue la primera obra realizada por encargo de Bernard Levy, figura que desempeñaría un papel relevante en la posterior trayectoria de Guastavino,especialmente en su política de patentes. ST



Pabellón español en la Exposición Colombina de Chicago de 1893, Chicago, Illinois (Guastavino Moreno). En la composición de este edificio Guastavino se inspiró el interior de la Lonja de Valencia, su ciudad natal. AVL

Fundación de la Guastavino Fireproof Construction Company

Guastavino, una vez probada la aceptación de su sistema constructivo, y sus especiales características de incombustibilidad constituyó en 1889 la Guastavino Fireproof Construction Company. A partir de entonces su actividad —rechazado definitivamente el ejercicio libre de la profesión de arquitecto— está ligada a la empresa, de manera que al referirnos a las bóvedas de Guastavino nos remitimos a un complejo proceso productivo, ampliamente desarrollado en el tiempo y que sobreviviría en mucho a su fundador. Su hijo, Rafael Guastavino Expósito (1872-1950), emigrado con su padre a Nueva York y que contaba diecisiete años cuando se fundó la Guastavino Company, participó intensamente del proceso de constitución y desarrollo del sistema; tras la muerte del fundador (1908) se hizo cargo de la empresa y, de hecho, gran parte de los más resonantes éxitos de la Guastavino Company se produjeron bajo su dirección.

En el desarrollo de la compañía fue decisiva la figura de William E. Blodgett y, más tarde, la de su hijo Malcolm: ellos dirigieron los asuntos financieros de la empresa, sabiendo sortear los graves períodos de depresión económica que fueron apareciendo en el país.

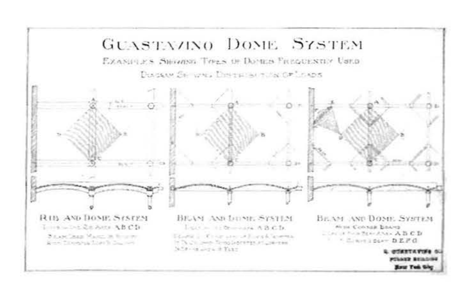
La habilidad con que Guastavino supo ir fundamentando su empresa queda patente en el hecho de que, a los diez años de su llegada a EEUU, ésta contara con oficinas abiertas en distintas ciudades: entre ellas, Nueva York, Boston y Chicago; así como que contara ya con alto número de importantes construcciones. Aunque la actividad de la Guastavino Company alcanzara casi todos los estados del país, se centró prin-



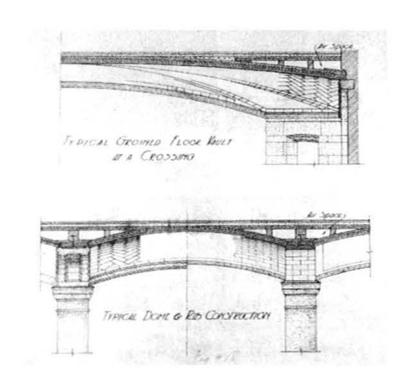
Construcción de bóvedas en la Biblioteca Pública de Boston, Boston, Massachusetts, 1889-1890 (Mc Kim, Mead and White). La construcción de las bóvedas de este importante edificio, que tuvo gran resonancia en medios profesionales,constituyó un punto de inflexión en la carrera de Guastavino: a partir de entonces orientó su quehacer al diseño y construcción de espacios abovedados en edificios proyectados por otros arquitectos. La figura que aparece en la fotografía, sobre un arco, es la del propio Guastavino. AVL [Lámina 3]



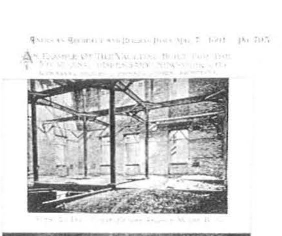
Primera sede de la Guastavino Fireproof Construction Company, Manhattan, calle 59 c/v. 11ª avenida. AVL



Guastavino System: aplicación del procedimiento a la construcción de bóvedas vaídas, apoyadas en cuatro arcos o en vigas perimetrales. AVL



Guastavino System: detalles del sistema para la ejecución de bóvedas como soportes de pisos. El esquema muestra el modo en que se acuerda la bóveda con el piso superior mediante la interposición de costillas de ladrillo. Se detallan también posibles aparejos para el intradós.AVL

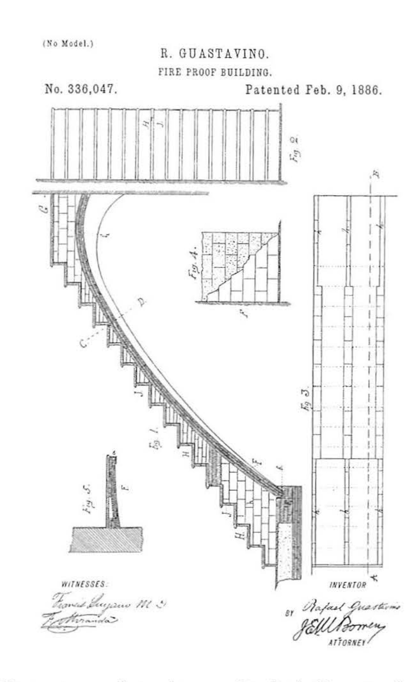




Guastavino System: esqueleto de acero que soporta una bóveda vaída, formada por vigas y tirantes en las esquinas. Hospital Mount Sinai, Manhattan, Nueva York, 1891-1905 (Arnold W. Brunner). AVL



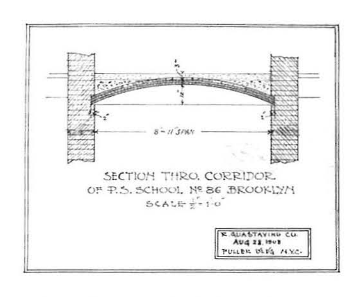
Ensayo de resistencia al fuego de una bóveda tabicada. Nueva York, 1897. El segundo por la izquierda es Guastavino. AVL



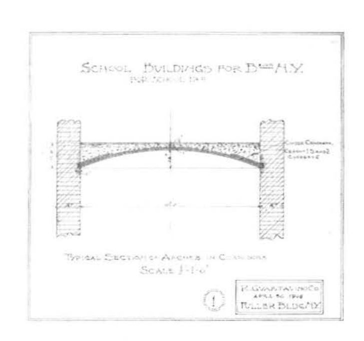
Patente registrada por Rafael Guastavino Moreno para la construcción de bóvedas tabicadas en escaleras. Nueva York, 1886. AVL [Lámina 4]



*Guastavino System: aplicación del sistema a la ejecución de bóvedas sobre arcos de ladrillo, mostrando el encuentro de la bóveda con el piso superior. A la izquierda, mediante la interposición de costillas de ladrillo. A la derecha, con un relleno macizo. AVL [Lámina 5]



*Escuela Pública nº86, Brooklyn, Nueva York, 1908. AVL



*Escuela Pública nº9, Brooklyn, Nueva York, 1908. AVL

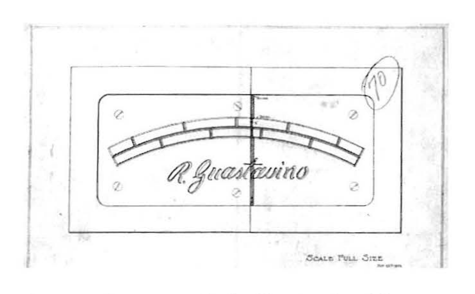
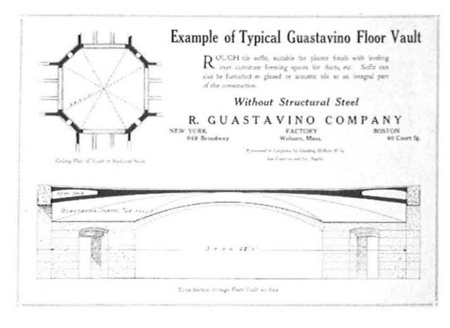


Imagen de marca de la Guastavino Fireproof Construction Company. Este diseño se estampaba en la tabla de los ladrillos que fabricaba la compañía. AVL



*Guastavino System: encuentro de una bóveda de cañon con el muro perimetral que la sustenta, detallando igualmente las dos formas de acordar la bóveda con la superficie horizontal del piso superior: interponiendo costillas de ladrillo y mediante un relleno. AVL

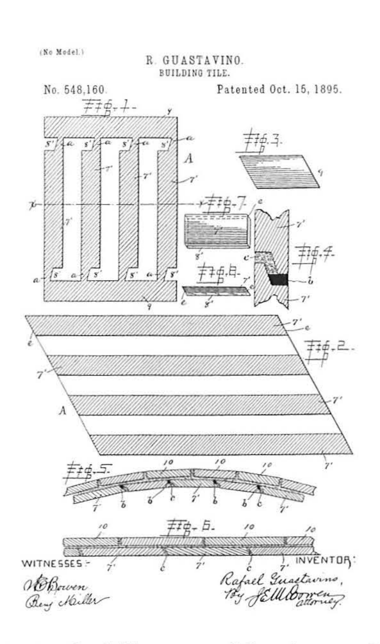


*Publicidad de la compañía acerca de sus bóvedas para pisos, resaltando que en sus estructuras se evita el uso de acero. AVL [Lámina 5]

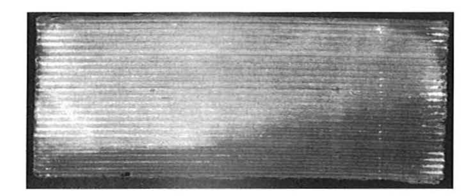
Patentes: materiales y procedimientos

Desde sus mismos inicios en Nueva York practicó Guastavino una activa política de patentes de procedimientos constructivos resistentes al fuego, basados en el ladrillo y las bóvedas a la catalana. Ya en 1885 había registrado el título «Construction of Fireproof Buildings», Construcción de edificios antiincendios, y en muy pocos años, con un conjunto de patentes que engloba bajo esa denominación de resistencia al fuego, logra producir unos materiales (piezas de ladrillo especiales, morteros, refuerzos metálicos en su caso) y procesos constructivos (bóvedas tabicadas y bovedillas para forjados, escaleras a la catalana, tabiques...) que confieren una eficaz operatividad al enseguida llamado Guastavino System; «invento» que, en realidad —salvo las evidentes ventajas que comportaban los nuevos morteros de cemento , bebía directamente en las fuentes de la tradición vernácula que había conocido en España, pero que, poco a poco, con continuos aditamentos y mejoras fue constitu-

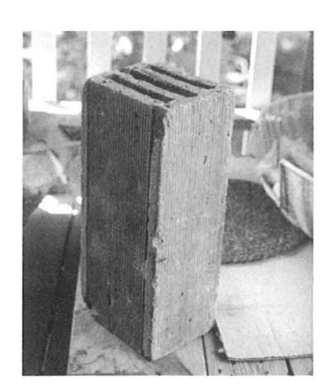
yendo un sistema propio y característico. Guastavino hijo, partiendo de un sistema constructivo ya plenamente consolidado y contrastado, lo desarrolló en nuevos tipos arquitectónicos e introdujo significativas mejoras estructurales (en este sentido es destacable la incorporación de armaduras metálicas en el tendido de las hojas de ladrillo, avanzando, en cierto modo, lo que hoy conocemos como «cerámica armada»). Pero sus intereses, una vez sistematizado el procedimiento de la construcción tabicada, se dirigieron también hacia aspectos complementarios, como la cerámica vidriada, los acabados polícromos y, sobre todo, los materiales de acondicionamiento acústico, que resultarían de gran interés arquitectónico y comercial.



Patente «Ladrillo para edificaciones». Registrada por Guastavino Moreno (Nueva York, 1895). Describe un bloque compuesto por seis ladrillos, agrupados para facilitar su transporte.AVL



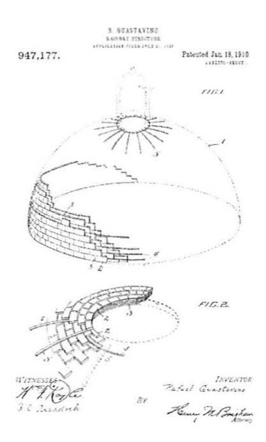
Ladrillo corrugado fabricado por la Guastavino&Co. Ante la dificultad para encontrar ladrillos apropiados para bóvedas tabicadas en Estados Unidos, los Guastavino fundaron hacia 1900 su propia factoría en Woburn, Massachusetts. La fotografía muestra el tipo básico de ladrillo utilizado en sus bóvedas. AVL



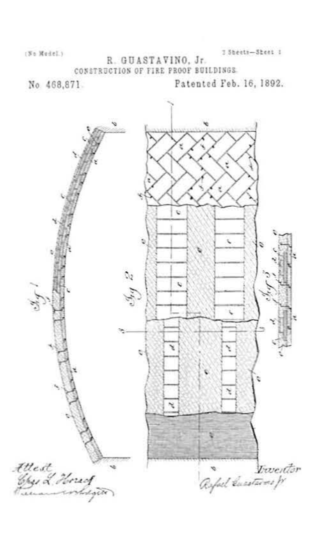
Bloque de seis ladrillos patentado por Guastavino en 1895. JP



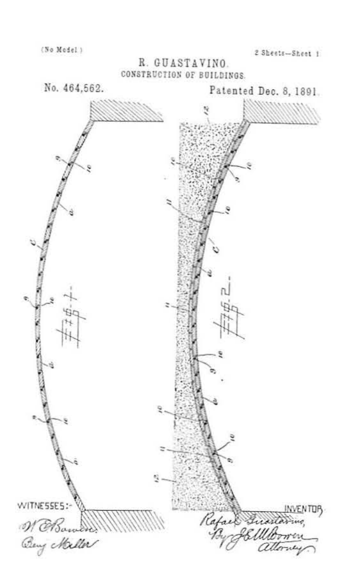
Cara posterior de un ladrillo,con el sello de la empresa estampado. Guastavino Expósito desarrolló nuevos ladrillos, como estas piezas vidriadas que se producían en diferentes colores. AVL



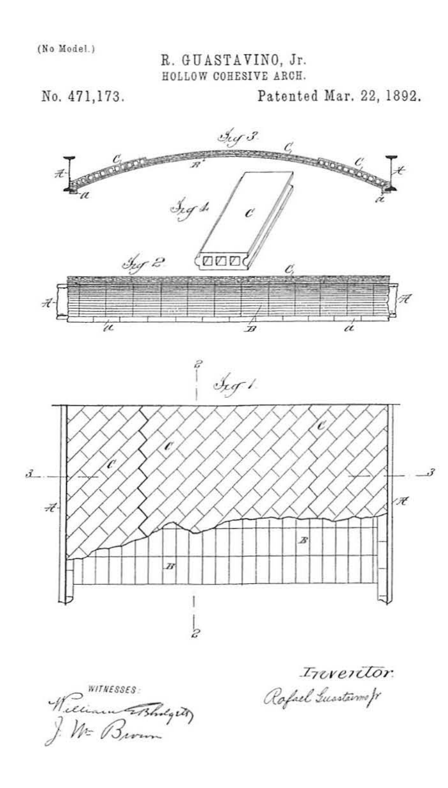
Patente «Estructura de fábrica». Registrada por Guastavino Expósito (Nueva York, 1910) Esta patente describe por primera vez una estructura de fábrica armada, en la que barras o flejes metálicos se introducen en la capa de cemento intermedia entre hojas de ladrillo. AVL



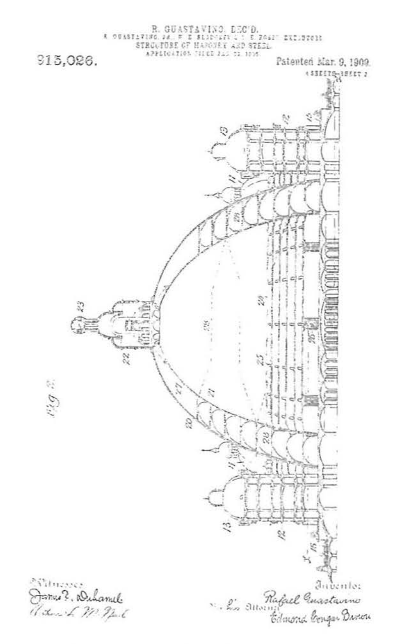
Patente «Construcción de edificios incombustibles». Registrada por Guastavino Expósito (Nueva York, 1892). Ejecución de una bóveda tabicada con refuerzos de arcos de ladrillo en su trasdós. (AVL).



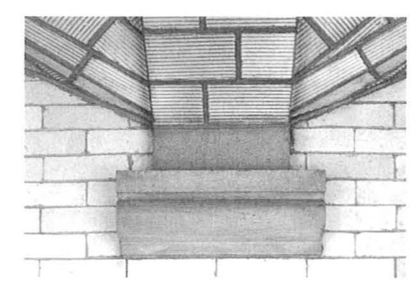
Patente «Construcción de edificios». Registrada por Guastavino y Moreno (Nueva York. 1891). Se refiere al esquema básico de construcción de una bóveda tabicada. AVL



Patente «Arco cohesivo hueco». Registrada por Guastavino Expósito (Nueva York, 1892). Describe un nuevo tipo de ladrillo hueco con el que se consigue mayor ligereza en las bóvedas. AVL



Patente «Estructura de fábrica y acero». Registrada por Guastavino Expósito (Nueva York, 1909). Esta patente, que fue escrita por Guastavino Moreno y registrada por Guastavino Expósito tras la muerte de su padre, describe un gran edificio de fábrica, formado por gran número de bóvedas tabicadas que constituyen un complejo sistema de interrelación. AVL



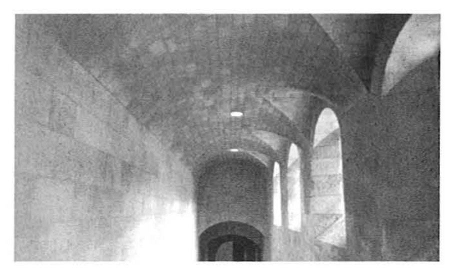
Seminario para la Union Theological Manhattan, Nueva York, 1908-1909 (Allen & Collens). En esta bóveda, construida por la Guastavino Co., se ha utilizado el ladrillo corrugado anteriormente descrito. ST



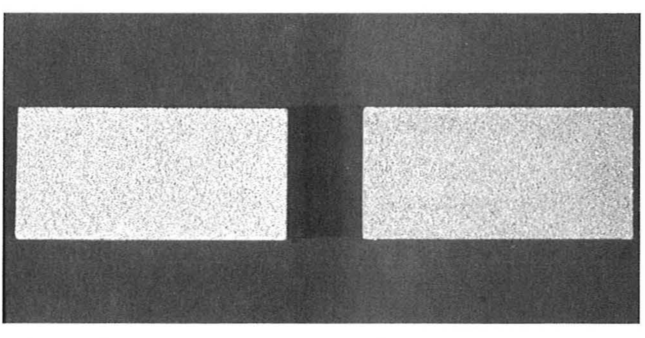
Restaurante Oyster Bar, situado dentro de la Estación Grand Central Manhattan, Nueva York, 1911-1913. (Reed and Stem, Warren and Wetmore). Caso notable de utilización de ladrillos corrugados en el intradós de una bóveda. DL

Investigación en materiales acústicos

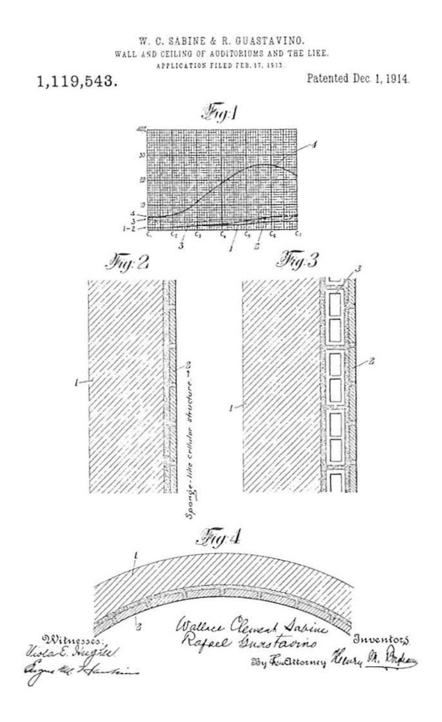
La vasta experiencia desarrollada por la compañía en grandes iglesias y auditorios estaba reclamando un ladrillo absorbente al sonido que permitiera tratar adecuadamente el intradós de las bóvedas tabicadas. Con este objetivo Guastavino hijo estableció contacto, en 1911, con el célebre ingeniero Wallace Clement Sabine, profesor de la Universidad de Harvard y máxima autoridad en EEUU en materia de acústica; con él llegaría a una colaboración para desarrollar un nuevo material que mejorara las cualidades absorbentes del ladrillo; colaboración que quedaría cristalizada en buen número de patentes: entre ellas, el ladrillo denominado Rumford Tile (1914) y el posterior Akoustolith (1915), pieza con la que realizó la compañía multitud de edificios públicos e iglesias.



Intradós de una bóveda de cañon, acabada con Akoustolith tile del museo The Cloisters. Manhattan, Nueva York, 1936 (Allen, Collens & Willis). DL



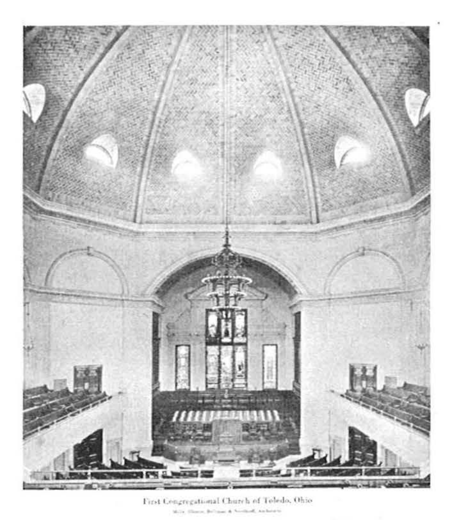
Dos piezas de Akoustolith tile. Estas piezas se fabricaban en la factoría de Woburn en una gran variedad de colores y tamaños. AVL



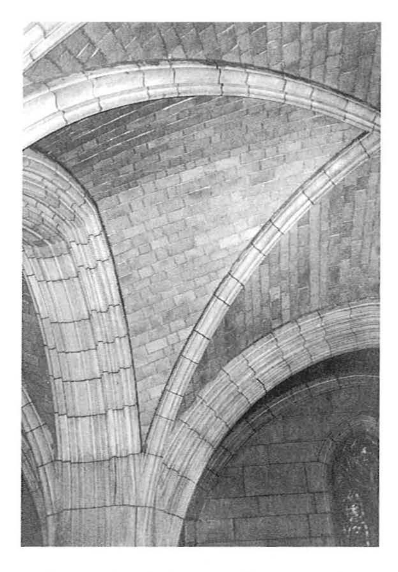
Patente «Paredes y techos para auditorios». Registrada por Guastavino Expósito (Nueva York,1914). Describe la pieza «Rumford tile», el primero de los productos acústicos que Guastavino Expósito desarrolló junto con Wallace Sabine. Sabine,fisico y profesor de la Universidad de Harvard, sentó las bases científicas de la acústica moderna. AVL



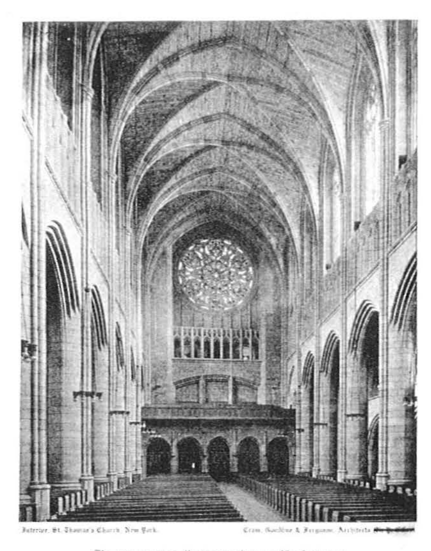
Patente «Absorbente acústico para techos y paredes». Registrada por Guastavino Expósito (Nueva York,1916). Este material, denominado Akoustolith tile y compuesto por cemento y áridos de granulometría uniforme, fue el resultado final de las investigaciones sobre acústica de Guastavino Expósito y Wallace Sabine. Tuvo un gran éxito,y aparece en casi todas las obras de la compañía desde que se patenta.AVL



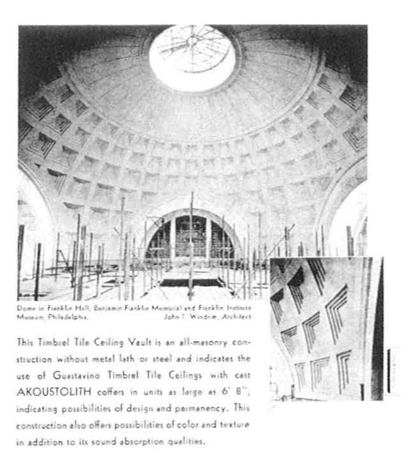
Propaganda de Rumford tile. First Congregational Church, Toledo, Ohio. 1914-1915 (Mills, Rhines, Bellman & Nordhoff). AVL



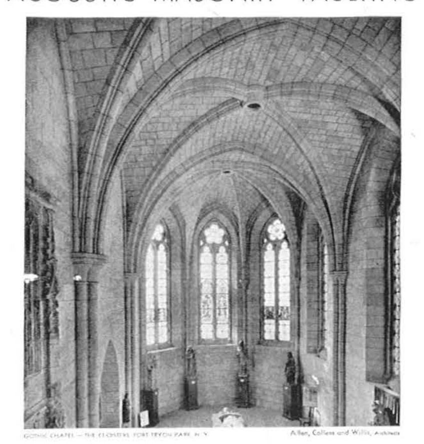
Intradós de las bóvedas de crucería construidas con Rumford tile en la iglesia de St. Thomas Manhattan, Nueva York, 1911-1929 (Cram, Goodhue & Ferguson). GL



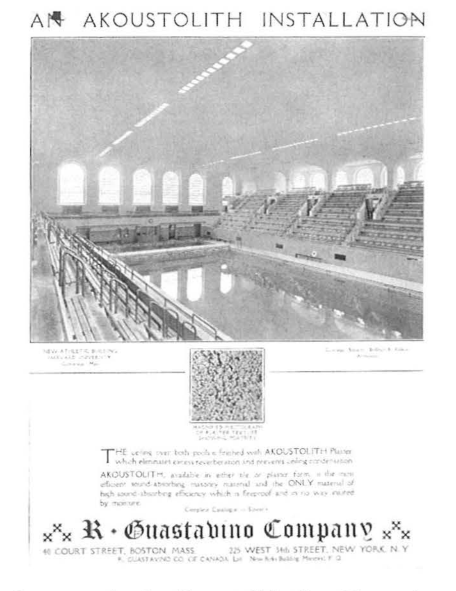
Propaganda de Rumford tile. Iglesia de St. Thomas, Nueva York, 1911-1929 (Cram, Goodhue & Ferguson). AVL



Propaganda de Akoustolith tile. Benjamin Franklin Memorial, Philadelphia, Pennsylvania. 1933-1934 (John T. Windrim). AVL



Propaganda de Akoustolith tile. Museo The Cloisters, Manhattan, Nueva York, 1936 (Allen, Collens & Willis).AVL



Propaganda de Akoustolith tile. Gimnasio, Univesidad de Harvard, Cambridge, Massachusetts, ca. 1930 (Coolidge, Shepley, Bulfinch & Abbott). AVL



Propaganda de paneles acústicos para techos y paredes.AVL

Aparejos y estudios cromáticos

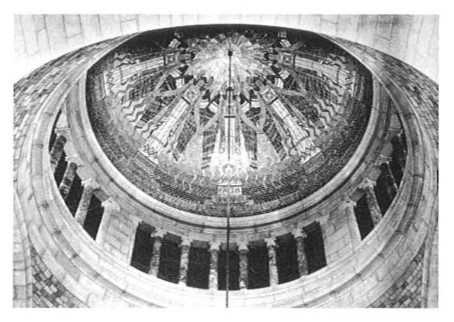
En paralelo a la construcción de bóvedas, actividad fundamental de la compañía, ésta desarrolló a lo largo de su historia una intensa investigación en cuanto a nuevos materiales. Desde los primeros pasos por Nueva York había reparado Guastavino en la inexistencia en aquel mercado de piezas cerámicas apropiadas a la construcción tabicada; los ladrillos que podía encontrar —provenientes, por lo general, de Holanda e Inglaterra— eran más pequeños, gruesos y pesados que los buscados por Guastavino para desarrollar su sistema. Ello llevó a la Guastavino Company a fundar su propia planta de fabricación de ladrillos en Woburn, Massachusetts, hacia 1900; a partir de aquí desarrolló nuevas piezas cerámicas para sus bóvedas, atendiendo muy especialmente al acabado y revestimiento. A la innovación técnica de los propios materiales de construcción acompañaría, a partir de entonces, un destacado esfuerzo en cuanto a diseños de aparejos y elementos cromáticos en cerámica vidriada, acordes a las diferentes estéticas del momento, con clara apertura a formas nuevas como el déco.



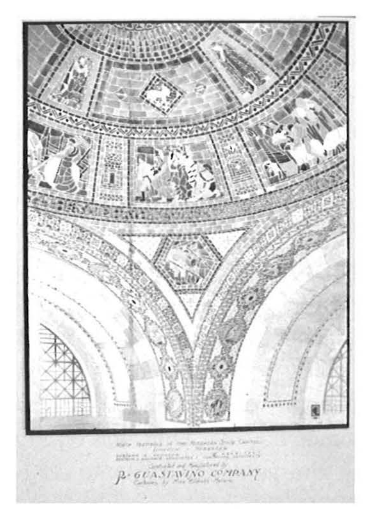
Ladrillos vidriados, formando aparejo en espina de pez. Hotel Vanderbilt. Manhattan, Nueva York, 1910-1911 (Warren&Wetmore). AVL



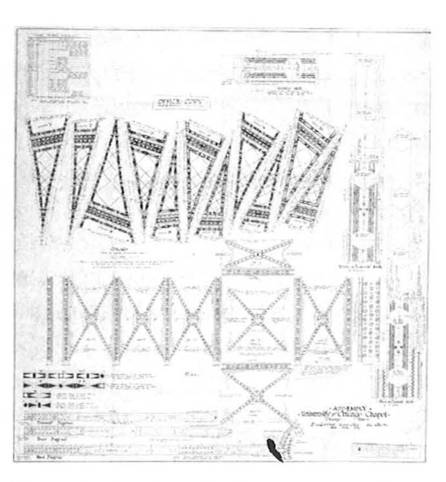
Aparejo de ladrillos vidriados. Catedral de St John the Divine. Manhattan, Nueva York, 1892-1932 (Heins&LaFarge, Cram&Ferguson). DL



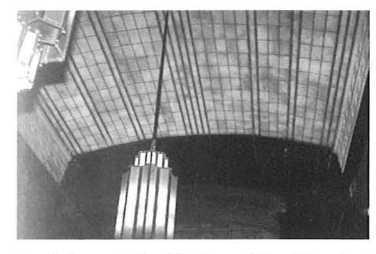
Nebraska State Capitol. Cúpula construida con piezas de diferente color. AVL



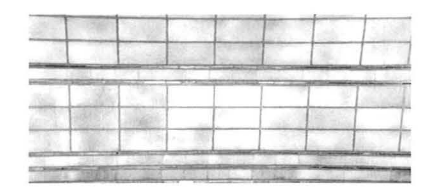
Nebraska State Capitol. Lincoln, Nebraska, 1930 (Bertram G. Goodhue&Ass). En este proyecto, como en otros muchos en los que Guastavino colaboró con el arquitecto Bertram G. Goodhue, se aprecia el interés común por los elementos decorativos. Todas las piezas fueron diseñadas por la Guastavino&Co y producidas en la factoría de Woburn. Revestimiento del intradós de una bóveda con elementos polícromos. AVL



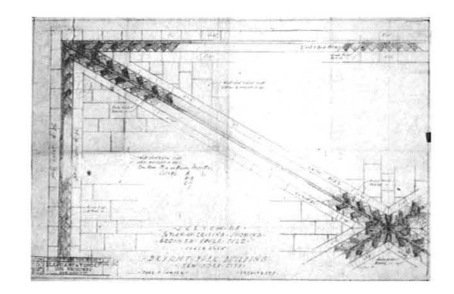
Plano de despiece de diversos aparejos en bóvedas. Capilla en la Universidad de Chicago. Chicago, Illinois, 1927 (Bertram G. Goodhue&Ass.). AVL



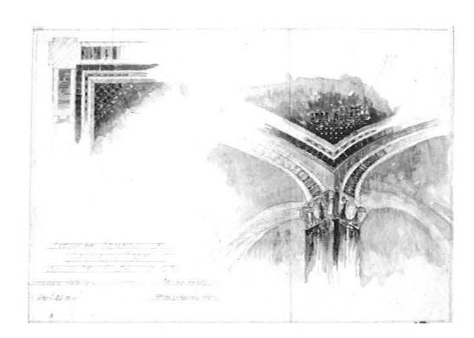
Rascacielos en la 5º Avenida, Manhattan. Nueva York, 1930. (Allen&Ass). Vista del intradós del lobby. DL



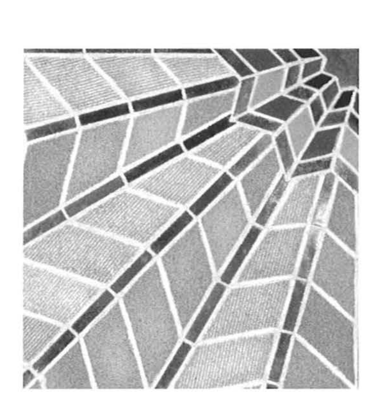
Rascacielos en la 5º Avenida. Detalle del aparejo seguido en esta bóveda. DL

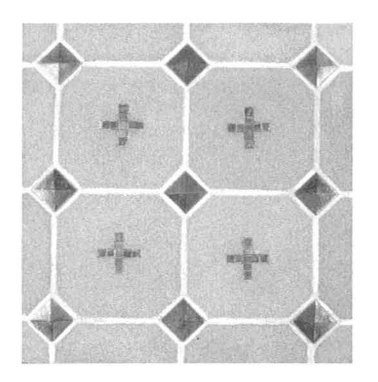


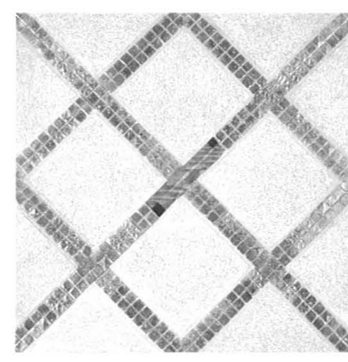
Planta de bóveda, definiendo su policromía. Bryant Park Building. Manhattan, Nueva York, 1926 (York & Sawyer). AVL

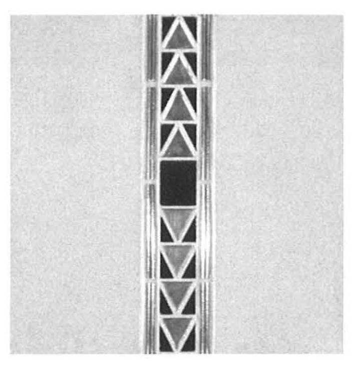


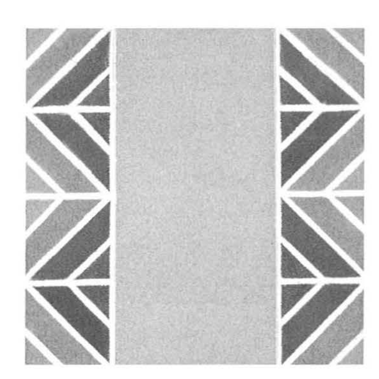
Estudio cromático de una bóveda y su apoyo. Hotel Vanderbilt. Manhattan, Nueva York, 1910-1911 (Warren&Wetmore). AVL

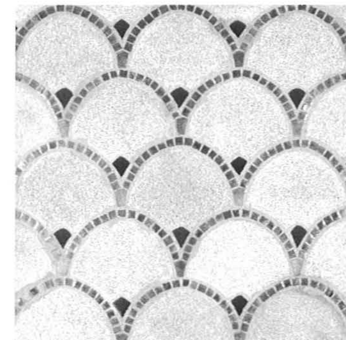








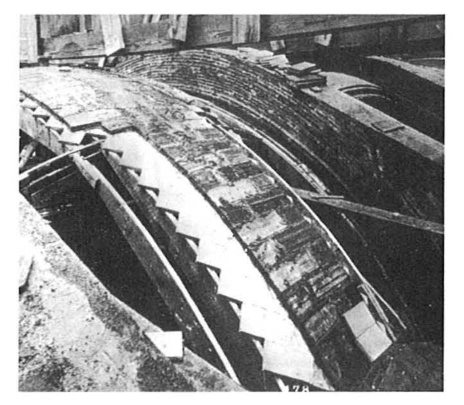




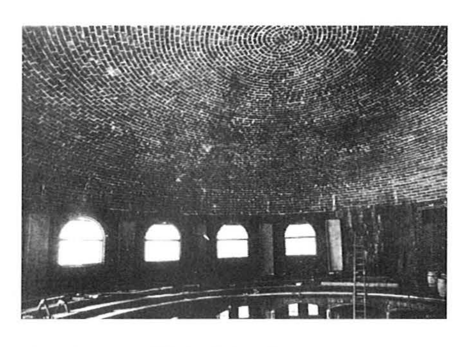
Muestras que la Guastavino&Co utilizaba como publicidad de sus distintas piezas cerámicas. AVL

Procesos constructivos

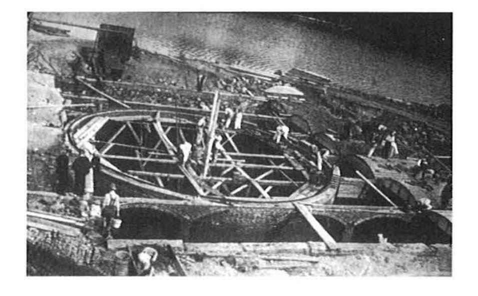
Un aspecto que, en gran parte, explica el éxito de la empresa de Guastavino es el progresivo control que la compañía fue estableciendo sobre todas las fases del proceso constructivo: diseño y patentes, ensayos, fabricación y manufactura de los distintos tipos de ladrillo, distribución y puesta en obra; ello conllevaría un alto control de calidad, una activa colaboración con los arquitectos autores del proyecto, una mayor agilización de la obra y un abaratamiento de la construcción. Es destacable el especial cuidado de Guastavino en registrar en patente, más allá de los diversos materiales cerámicos, el propio proceso constructivo. Al imponer que el procedimiento fuera realizado por personal debidamente cualificado velaba por el crédito de la patente; pero ello también le garantizaba prácticamente la exclusiva en la construcción de este tipo de bóvedas. El celo con que los Guastavino protegieron su sistema explica el hecho de que, a lo largo de los muchos años de existencia de la compañía, mantuvieran un total monopolio en la construcción de bóvedas tabicadas en EEUU. El sistema abovedado de Guastavino conlleva un alto valor conformante del espacio; ello explica la íntima colaboración de los Guastavino con los arquitectos autores de los proyectos. Forma y construcción, en las bóvedas de Guastavino, son conceptos que corren parejos.



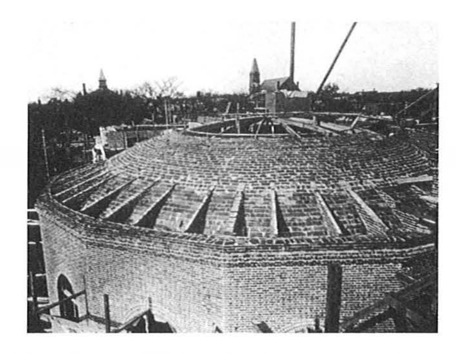
*Estación del metro City Hall. Nueva York.1901-1902. (Heins & LaFarge). Construcción de las bóvedas. AVL



East Boston High School, Boston, Massachusetts, 1889. (R.H. Brown & J.C. Moses). Intradós de la cúpula terminada. AVL [Lámina 6]



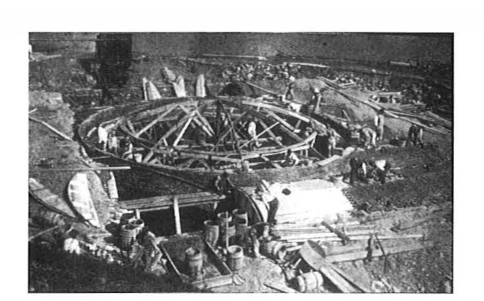
Reservoir Dome, Waltham, Massachussets, ca. 1900 (Autor desconocido). Plataforma de trabajo preparada para construir la cúpula. AVL [Lámina 7]



East Boston High School. Boston, Massachusets, 1899 (Brown&Moses). Cúpula en construcción, en la que se han colocado unas costillas de ladrillo en su parte inferior para mejorar su comportamiento estructural. AVL [Lámina 6]



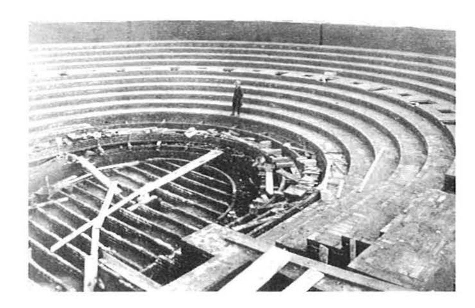
* National Shrine of the Inmaculate Conception. Washington DC, ca. 1959. Construcción de la cúpula con un mayor espesor en el arranque. AVL



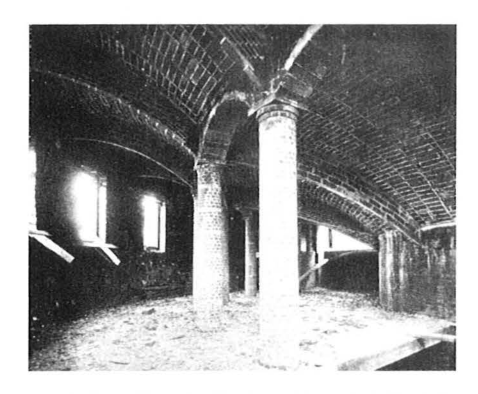
Reservoir Dome.Tendido de la cimbras necesarias para controlar la forma de la cúpula. AVL [Lámina 7]



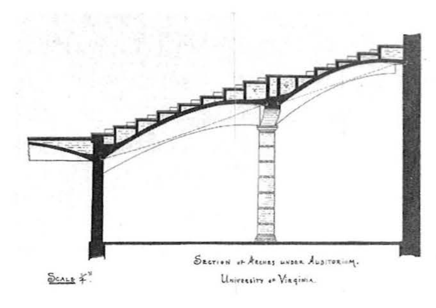
Reservoir Dome. Cúpula terminada. AVL



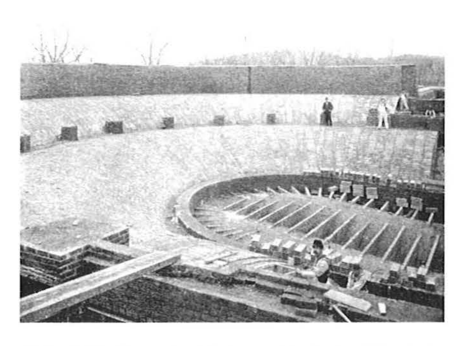
Construcción del Cabel Hall en la Universidad de Virginia Charlottesville, Virginia, ca.1900 (McKim, Mead & White). Bóvedas tabicadas con tabiques de ladrillo a modo de costillas. Detrás de los operarios, pueden identificarse bloques de seis ladrillos tal y como se fabricaban y transportaban, antes de su colocación. AVL



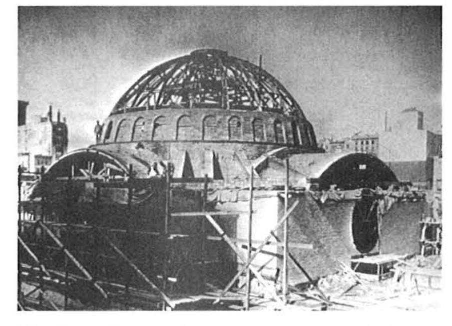
*Cabel Hall en la Universidad de Virginia Charlottesville. Intradós de las bóvedas. AVL [Lámina 8]



*Cabel Hall en la Universidad de Virginia Charlottesville. Sección transversal. AVL [Lámina 8]



Cabel Hall en la Universidad de Virginia Charlottesville. Gradas, terminadas sobre las bóvedas. AVL



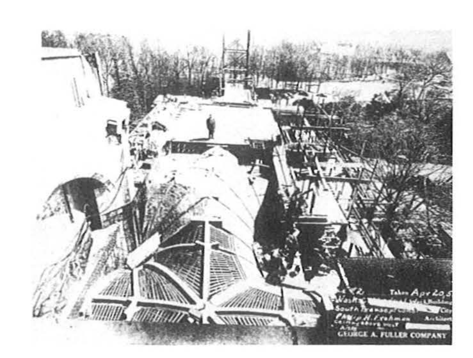
Madison Square Presbyterian Church. Manhattan, Nueva York, 1904 (McKim, Mead & White). Fase de construcción de una cúpula en la que se observa el montaje de la cimbra. AVL [Lámina 9]



Catedral de St.John the Divine. Manhattan, Nueva York, 1892-1932 (Heins&LaFarge, Cram&Ferguson). Proceso constructivo de una bóveda. AVL



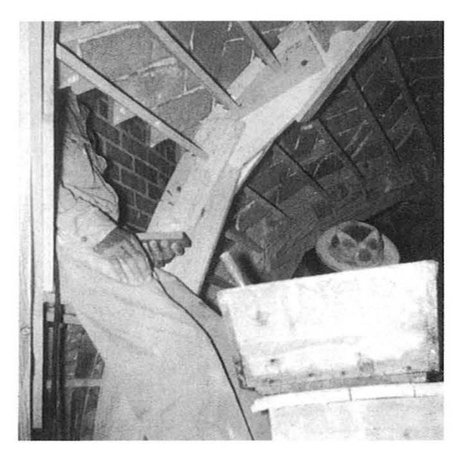
*St. Ann's Church. Washington, Washington D.C., 1940 (Henry D. Dagit). AVL



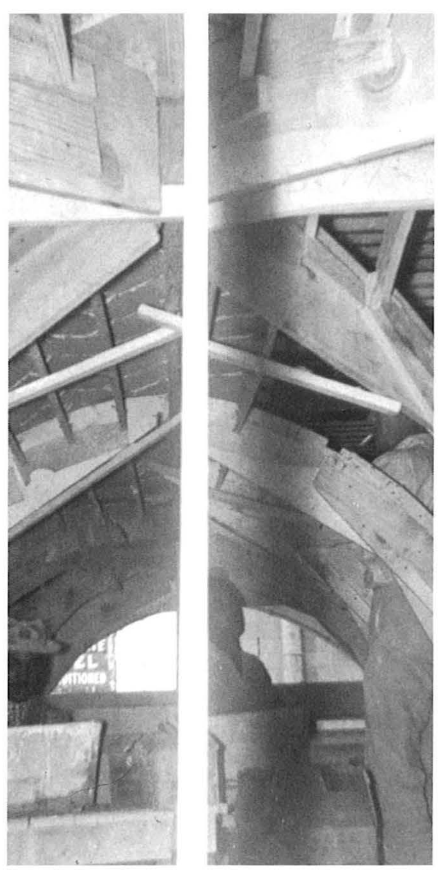
Catedral de Washington. Washington D.C., 1923-1956 (Frohman, Kobb&Little), Detalle de la construcción de una bóveda neogótica, en la que se aprecian los nervios ya tendidos y una tablazón intermedia para apoyo de la plementería. AVL



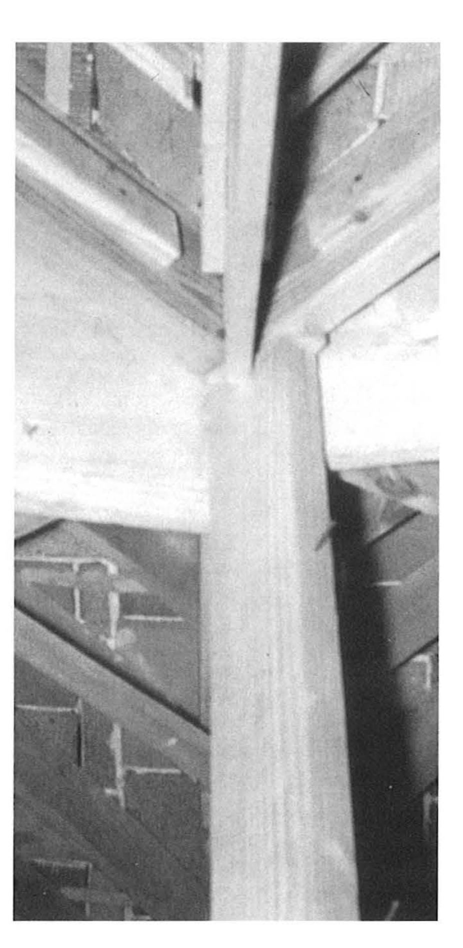
The Texas Company Building, Houston, Texas, 1958-1959 (Keneth Franzheim&Ass.). Estructura auxiliar de madera preparada para la construcción de una bóveda. AVL



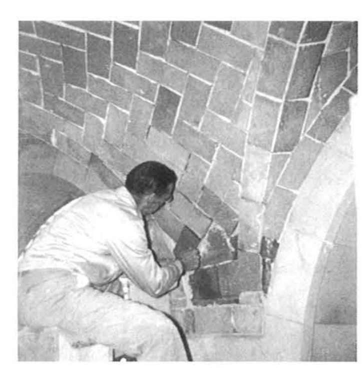
*The Texas Company Building. Colocación de ladrillos sobre la estructura auxiliar. AVL



*The Texas Company Building. Fase intermedia de la construcción de la bóveda. AVL



*The Texas Company Building. Bóveda terminada. AVL



The Texas Company Building. Rejuntado del intradós de la bóveda ya construida. (AVL).



*The Texas Company Building. Intradós de la bóveda rejuntada. AVL

Métodos de cálculo y ensayos de resistencia

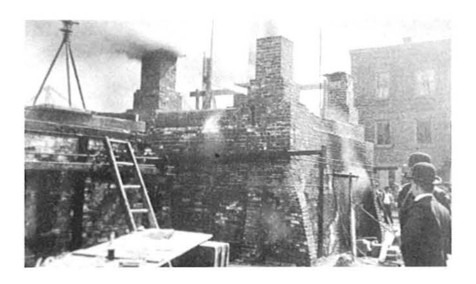
La construcción de bóvedas tabicadas que había conocido Guastavino en Cataluña combinaba experiencia empírica e instinto constructor: poco o nada se había sistematizado sobre el proceso y sus bases de cálculo; es elocuente al respecto el panorama descrito por el propio Guastavino: «Hasta los años 1866 o 1868 los profesores de la escuela de Barcelona, una de las más destacadas de Europa, y una ciudad donde el ladrillo se usaba más que en el resto del mundo, no comenzaron a prestar atención a este estilo, y cuando por fin lo hicieron fue sólo para tratar incidentalmente acerca de su resistencia y de sus posibilidades de uso; pero no entraron en su estudio, a pesar del hecho de que constantemente andaban sobre pisos construidos con este sistema». Partiendo del sencillo instrumento de la estática gráfica, Guastavino calculó y construyó muy diversas y complejas estructuras abovedadas. A la vez que desarrollaba sus métodos de cálculo, Guastavino fue consciente —desde los comienzos de su andadura americana— de la necesidad de conferir máxima confianza a su sistema de construcción. Así, en 1887 ya había realizado rigurosos ensayos de las bóvedas que propugnaba, de manera que enseguida pudo demostrar sus excelentes condiciones de resistencia e incombustibilidad.



Ensayo de carga de una bóveda tabicada. Nueva York, 1901. AVL [Lámina 10]



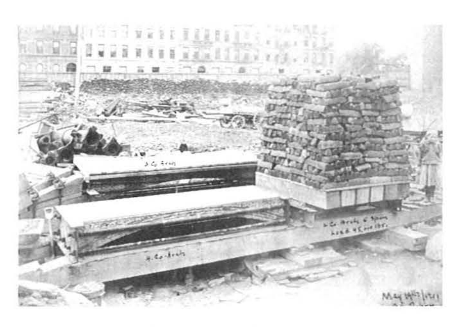
Ensayo de carga y resistencia al fuego de una bóveda tabicada, Nueva York, 1897. En esta fotografía se observa el trasdós de la bóveda, constituida por tres hojas de ladrillo; en las esquinas, los huecos practicados para chimeneas. AVL



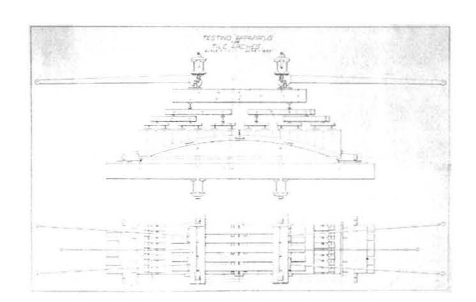
Ensayo de carga y resistencia al fuego. Momento en que se realiza el ensayo de resistencia al fuego combinado con una prueba de carga. AVL



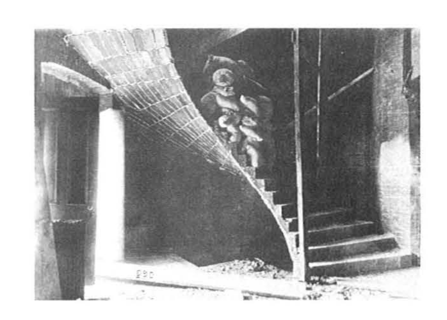
Ensayo de carga y resistencia al fuego. Fase en la que, apagado el fuego tras cinco horas, se sobrecarga la bóveda para un último ensayo de resistencia. AVL



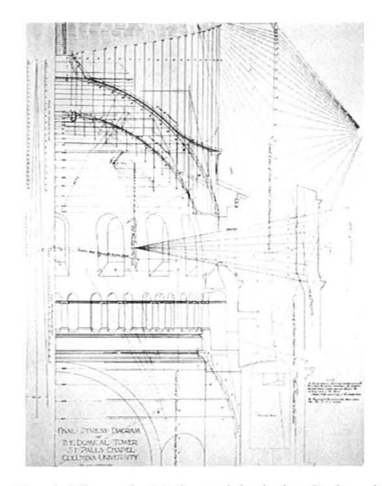
Preparación de ensayos de carga para bóvedas tabicadas. AVL



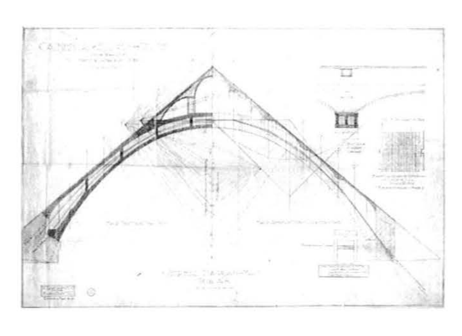
Máquina desarrollada por la Guastavino&Co para hacer ensayos de carga en bóvedas tabicadas. AVL



Prueba de carga sobre la bóveda de una escalera helicoidal. AVL



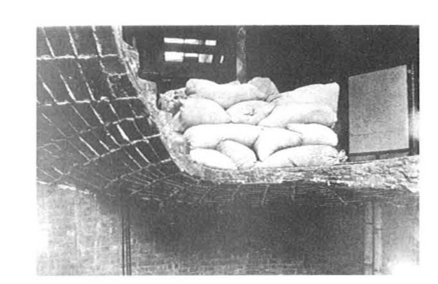
St. Paul Chapel, Universidad de Columbia. Nueva York, 1905-1906 (Howell & Stokes). Procedimientos de cálculo mediante estática gráfica. AVL [Lámina 11]



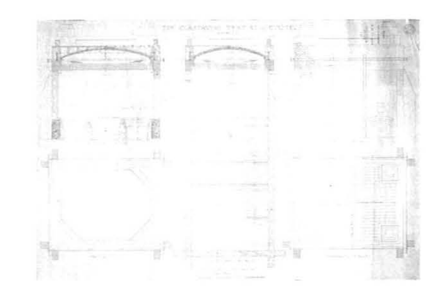
Catedral de St. John the Divine. Nueva York. 1892-1932 (Heins&LaFarge, Cram&-Ferguson). Procedimientos de cálculo mediante estática gráfica. AVL [Lámina 12]



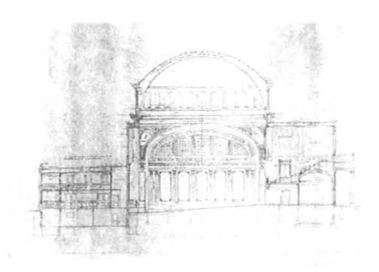
*Bóveda tabicada preparada para una prueba de carga AVL



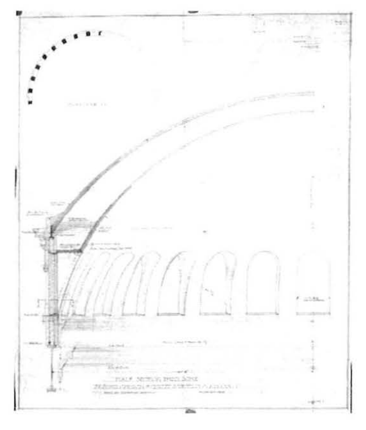
*First Church of Christ Scientist, Manhattan, Nueva York. *ca*. 1900. (Autor desconocido). Ensayo de carga realizado sobre una escalera. AVL



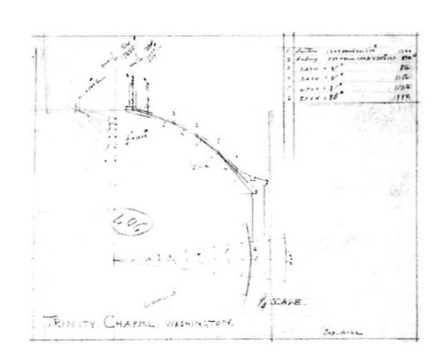
*Planos de la bóveda tabicada, apoyada en cuatro muros perimetrales, que la Guastavino&Co. utilizó para realizar los ensayos de carga y resistencia a fuego que se detallan en las imágenes anteriores. AVL



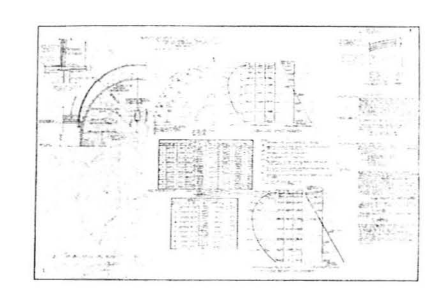
*Second Church Of Christ Scientist, Cleveland, Ohio. 1916-1918. (Fred. Wm. Striebinger). Sección longitudinal. AVL



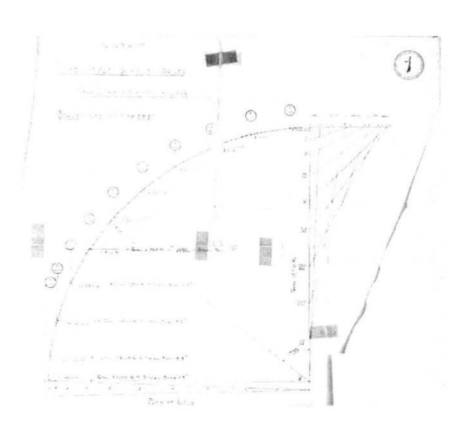
*Second Church Of Christ Scientist. Sección por la cúpula, de doble hoja. AVL



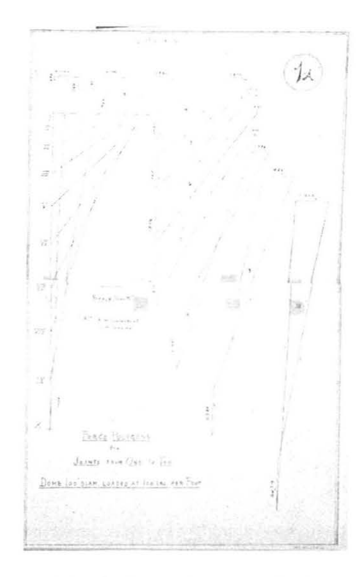
*Trinity College Chapel. Washington DC, 1921-1922. Análisis gráfico de la cúpula. AVL



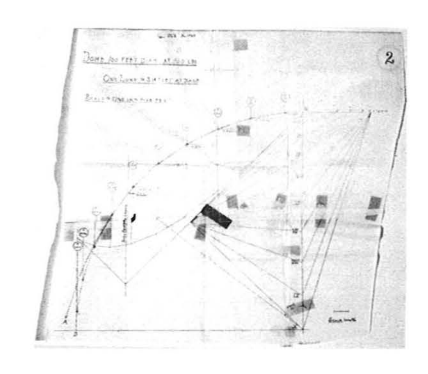
*Museo de Historia Natural, Manhattan, Nueva York. 1934. (Trowbridge&Livigstone). Análisis gráfico de la cúpula. AVL



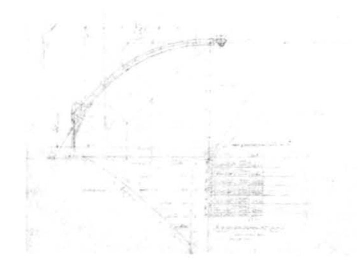
*Cálculos mediante estática gráfica para una cúpula de 100 pies de diametro. Este croquis parece ser un estudio previo para la cúpula de St. John the Divine. AVL



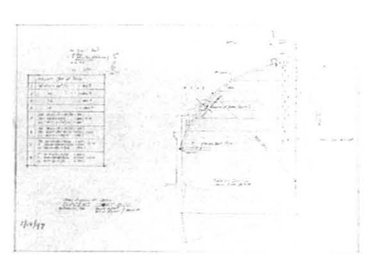
*Desarrollo de los polígonos de fuerza resultantes del diagrama de la figura anterior. AVL



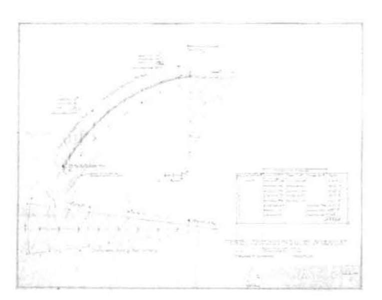
*Otro procedimiento de cálculo, igualmente gráfico, para una cúpula de 100 pies de diámetro. AVL



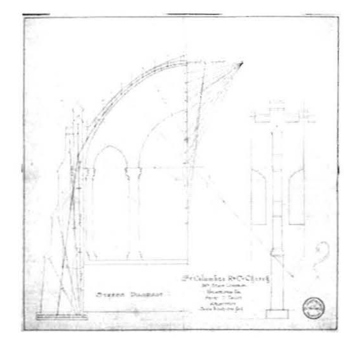
*Iglesia Episcopaliana en North Woodward, Detroit, Michigan. 1925. (W. E. N. Hunter). Cálculo mediante estática gráfica de un nervio de las bóvedas. AVL



*Tribunal Supremo de Florida, Tallahassee, Florida. 1940. (Younge & Hart). Cálculo de los pesos de la cúpula y procedimiento de cálculo mediante estática gráfica. AVL



*Tenth Church of Christ Scientist, Chicago, Illinois. 1917. (Coolidge & Hodgdon). Cálculo de los pesos de la cúpula y procedimiento de cálculo mediante estática gráfica. AVL

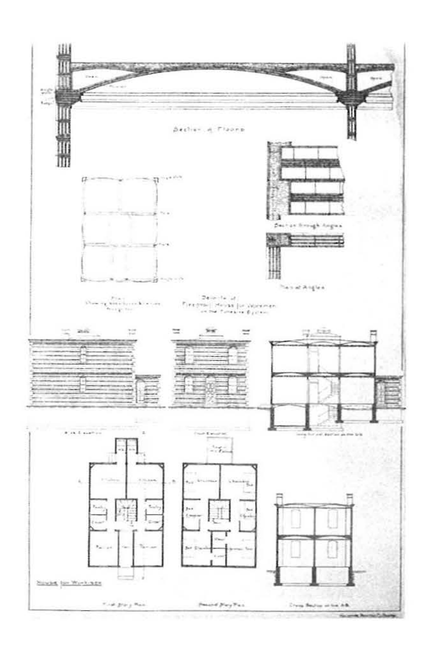


*Iglesia de St. Columba, Philadelphia, Philadelphia. 1906-1912. (Henry D. Dagit). Polígono de fuerzas y linea de empujes de la cúpula. AVL

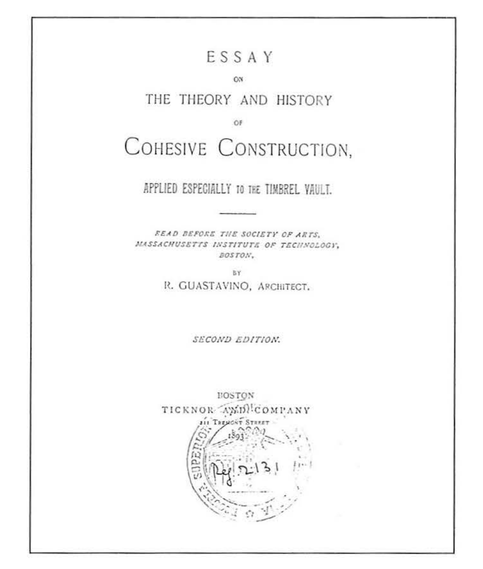
Difusión científica de las teorías de Guastavino

En paralelo a la divulgación publicitaria hay otro aspecto de particular importancia: la rigurosa difusión científica y técnica, mediante publicaciones y ponencias en congresos, que Rafael Guastavino supo hacer de su sistema. Ya en su etapa catalana había constatado la inexistencia de tratados sobre la bóveda tabicada moderna; entendía necesario acometer este trabajo, actualizando ese conocimiento vernáculo con su aplicación a nuevos tipos edificatorios y —lo que juzgaba de interés capital— contemplando el progreso de los nuevos morteros. Ello le animó, tras sus primeros éxitos en EEUU, a la publicación de diferentes estudios sobre el sistema de bóvedas tabicadas, que condujeron a la publicación, en 1892, de su *Essay on the Theory and History of Cohesive Construction, applied especially to the timbrel vault* (Ensayo sobre la teoría e historia de la construcción cohesiva, con particular referencia a la bóveda tabicada). Este tratado, el más claro compendio de su idea de la construcción, es una viva defensa del sistema de bóvedas tabicadas, del que se esfuerza en mostrar las ventajas frente a la construcción en hormigón (que él mismo había tanteado en sus inicios) y frente a las tradicionales bóvedas adoveladas. Describe el eficaz comportamiento estructural de su sistema; pero, además de esta defensa práctica, toca —en este libro y en otras publicaciones posteriores— lo que podemos llamar una defensa filosófica del papel que la albañilería ha jugado en la historia de la construcción.

Esta publicación sería seguida más tarde de otras. En 1893, con motivo del Congreso de Arquitectos en la Exposición Universal de Chicago, presentó la ponencia *The Cohesive Construction. Its Past, its Present; its Future* (La construcción cohesiva: pasado, presente y futuro). Más adelante, en 1904, con motivo del mencionado Congreso Internacional de Arquitectos de Madrid, publicó el ensayo *The Function of Masonry in Modern Architectural Structures* (La función de la fábrica en las modernas construcciones arquitectónicas).



Documentación gráfica enviada por Guastavino Moreno en su aportación «Improving the Heathfulness of the Industrial Towns» a la Philadelphia Centennial Exposition (1876). Esta contribución, que recibió una mención, constituyó un primer contacto de Guastavino con el mundo de la arquitectura en EEUU; en ella daba a conocer las ventajas de la construcción tabicada para el desarrollo de nuevas ciudades. CG



ESSAY
ON
THE THEORY AND HISTORY
OF
COHESIVE CONSTRUCTION,
APPLIED ESPECIALLY TO THE TIMBREL VAULT.

READ BEFORE THE SOCIETY OF ARTS,
MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY,
BOSTON.

BY
R. GUASTAVINO, ARCHITECT.

SECOND EDITION.

BOSTON
TICKNOR AND COMPANY

Portada del libro de Guastavino *Essay on the Theory and History of Cohesive Construction, applied especially to the timbrel vault.* Este texto, publicado en Boston en 1892, es el principal compendio de las teorías de Guastavino sobre bóvedas tabicadas, dentro del caso general de la por él llamada construcción cohesiva, procedimiento que opone a lo que denomina construcción por gravedad. EAB



COHESIVE CONSTRUCTION. 49

Italy and Spain at this epoch had no text-books of their own; all were translations from the French and English works.

TIMBREL ARCHES.

(43) We will begin by investigating the way in which this kind of arch works.

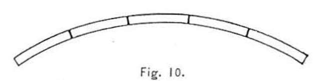


Fig. 10.

A "Timbrel Vault" of a single thickness of brick or tile (Fig. 10) has no more resistance than an arch or vault built on the "Gravity System"; because, no matter how good the mortar may be, there is only one vertical joint, and the bricks or tiles are working as voussoirs. Consequently this form of arch belongs to the "Gravity System." But if we put another

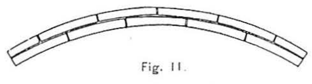
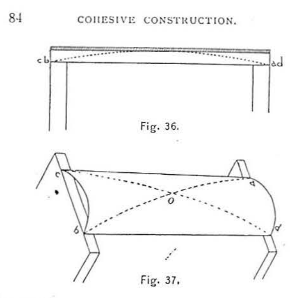


Fig. 11.

course over the first (Fig. 11), breaking joints, and laid with hydraulic material, we will have the action of cohesive force. In this way the

Ilustración, mostrando la forma de construir un arco tabicado de varias hojas. *Essay on the Theory and History of Cohesive Construction*. EAB



evenly every point of the skewback that is over the flange of the beams; but as the points *a*, *b*, *c*, *d* are the most rigid ones, they will be the first to sustain the weight of the arches, consequently helping the beams,* and establishing the lines of pressure *a* and *b*, *c* and *d*. (See Figs. 35 and 36.) Similar arches will be formed from the point *a* to the opposite diagonal *c*, and from

* The *a*, *b*, *c*, *d* arch referred to in Fig. 35 will have on plan the form of a parallelogram limited between the lines of pressure A, O, C, and the similar lines of the next adjoining arch (Figs. 35 and 37).

COHESIVE CONSTRUCTION. 85

d to the opposite diagonal *c*, a tendency that will also be similar to the principles mentioned before.

(84) Fig. 38 represents a barrel arch broken irregularly and diagonally in two. In practice, the timbrel arch of this form retains its equilibrium, which cannot be explained by the

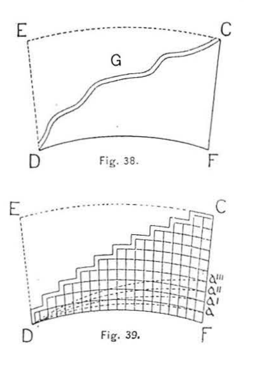
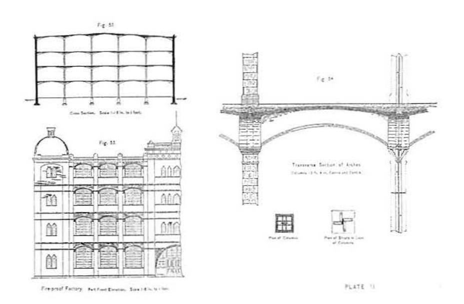
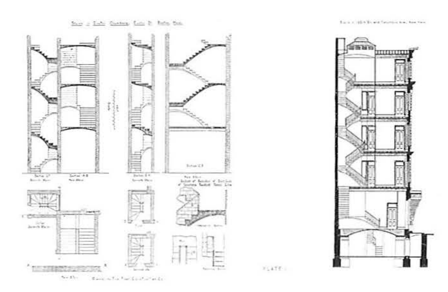


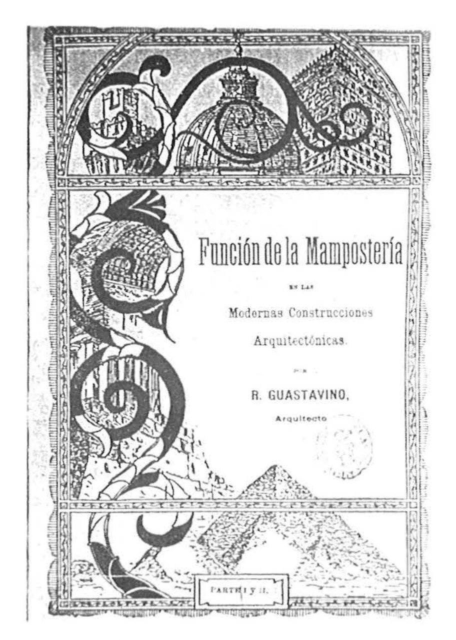
Ilustración señalando el análisis de los esfuerzos en una bóveda tabicada. *Essay on the Theory and History of Cohesive Construction.* EAB



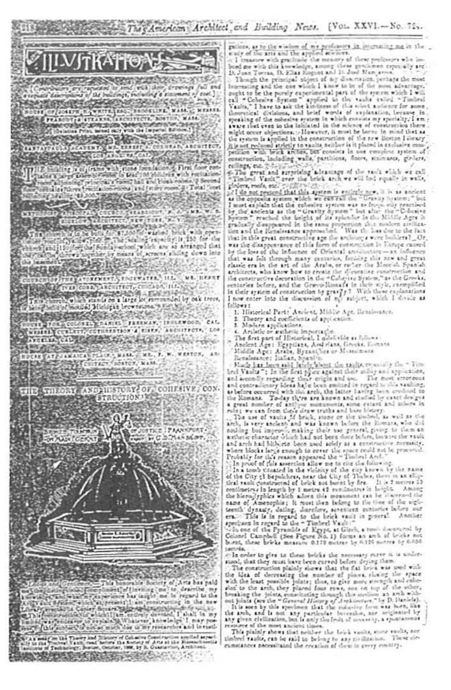
Ejemplos de aplicación de bóvedas tabicadas en forjados y cubiertas. *Essay on the Theory and History of Cohesive Construction.* EAB



Ejemplos de aplicación para escaleras. *Essay on the Theory and History of Cohesive Construction.* EAB



Portada del libro *Función de la mampostería en las modernas construcciones arquitectónicas*, escrito por Guastavino, y cuya edición inglesa se publicó en 1904. Este libro, escrito originalmente en inglés, al español. La fotografía corresponde a la edición española. En las actas del Congreso Internacional de Arquitectos que se celebró en Madrid en 1904, se publicó un resumen en francés. En este mismo año Guastavino, a través del arquitecto Mariano Belmás, presentó en España las experiencias que estaban llevando a cabo en Estados Unidos. BN



218 The American Architect and Building News. [Vol. XXVI.—No. 72[illegible]

ILLUSTRATIONS

[Contributors are requested to send with their drawings full and adequate descriptions of the buildings, including a statement of cost.]

HOUSE OF JOSEPH H. WHITE, ESQ., BROOKLINE, MASS. MESSRS. PEABODY & STEARNS, ARCHITECTS, BOSTON, MASS.

SANTA PAULA ACADEMY. MR. ERNEST A. COXHEAD, ARCHITECT, LOS ANGELES, CAL.

[illegible]

CHURCH OF THE ATONEMENT, EDGEWATER, ILL. MR. HENRY IVES COBB, ARCHITECT, CHICAGO, ILL.

This church, which stands on a large lot surrounded by oak trees, [illegible] Michigan brownstone.

HOUSE FOR COLONEL DANIEL FREEMAN, INGLEWOOD, CAL. MESSRS. CURLETT, CUTHBERTSON & EISEN, ARCHITECTS, LOS ANGELES, CAL.

HOUSE AT JAMAICA PLAIN, MASS. MR. F. W. WESTON, ARCHITECT, BOSTON, MASS.

THE THEORY AND HISTORY OF COHESIVE CONSTRUCTION.

[illegible]

gations, as to the wisdom of my professors in instructing me in the study of the arts and the applied sciences.

I treasure with gratitude the memory of these professors who imbued me with this knowledge, among these gentlemen especially are D. Juan Torras, D. Elias Rogent and D. José Mas [illegible].

Though the principal object of my dissertation, perhaps the most interesting and the one which I know to be of the most advantage, ought to be the purely experimental part of the system which I will call "Cohesive System" applied to the vaults called "Timbrel Vaults," I have to ask the kindness of this select audience for some theoretical divisions, and brief words of explanation, because in speaking of the cohesive system in which consists my specialty, I am aware that even to the initiated in the science of construction there might occur objections. However, it must be borne in mind that as the system is applied in the construction of the new Boston Library it is not reduced strictly to vaults neither is it placed in exclusive competition with brick arches, but consists in one complete system of construction, including walls, partitions, floors, staircases, girders, ceilings, etc.

The great and surprising advantage of the vault which we call "Timbrel Vault" over the brick arch we will find equally in walls, girders, roofs, etc.

I do not pretend that this system is entirely new, it is as ancient as the opposite system which we can call the "Gravity System;" but I must explain that the cohesive system was as frequently practised by the ancients as the "Gravity System" but after the "Cohesive System" reached the height of its splendor in the Middle Ages it gradually disappeared in the same proportion that modern civilization and the Renaissance approached. Was this loss due to the fact that in this great constructive age the architects were builders? Or was the disappearance of this form of construction in Europe caused by the loss of the influence of Oriental architecture — an influence that was felt through many centuries, forming this new and great classic era in the art of the Arabs, or rather the Moorish Spanish architects, who knew how to create the decorative construction and the constructive decoration in the "Cohesive System," as the Greeks, centuries before, and the Greco-Romans in their style, exemplified in their system of construction by gravity? With these explanations I now enter into the discussion of my subject, which I divide as follows:

1. Historical Part: Ancient, Middle Age, Renaissance.
2. Theory and coefficients of application.
3. Modern applications.
4. Artistic or æsthetic importance.

The first part of Historical, I subdivide as follows:
Ancient Age: Egyptians, Assyrians, Greeks, Romans.
Middle Age: Arabs, Byzantines or Mussulmans.
Renaissance: Italian, Spanish.

Much has been said lately about the vaults, especially the "Timbrel Vaults"; in the first place against their utility and application, and secondly regarding their origin and use. The most erroneous and contradictory ideas have been emitted in regard to this vaulting, as before occurred with the arch, the latter having been credited to the Romans. To-day there are known and studied by exact designs a great number of antique monuments, some extant and others in ruin; we can from these draw truths and base history.

The use of vaults of brick, stone or the timbrel, as well as the arch, is very ancient and was known before the Romans, who did nothing but improve, making their use general, giving to them an æsthetic character which had not been done before, because the vault and arch had hitherto been used solely as a constructive necessity, where blocks large enough to cover the space could not be procured. Probably for this reason appeared the "Timbrel Arch."

In proof of this assertion allow me to cite the following:

In a tomb situated in the vicinity of the city known by the name of the City of Sepulchres, near the City of Thebes, there is an elliptical vault constructed of brick not burnt by fire. It is 2 metres 53 centimetres in length by 1 metre 42 centimetres in height. Among the hieroglyphics which adorn this monument can be discerned the name of Amenophis; it must then belong to the time of the eighteenth dynasty, dating, therefore, seventeen centuries before our era. This is in regard to the brick vault in general. Another specimen in regard to the "Timbrel Vault:"

In one of the Pyramids of Egypt, at Gizeh, a tomb discovered by Colonel Campbell (See Figure No. 1) forms an arch of bricks not burnt, these bricks measure 0.170 metre by 0.126 metre by 0.036 metre.

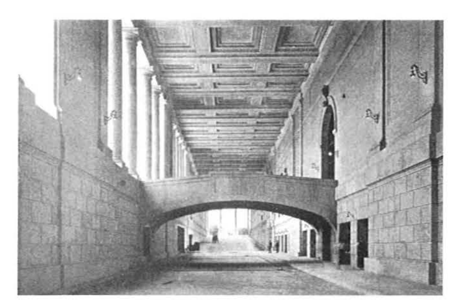
In order to give to these bricks the necessary curve it is understood, that they must have been curved before drying them.

The construction plainly shows that the flat brick was used with the idea of decreasing the number of pieces, closing the space with the least possible joints; thus, to give more strength and cohesion to the arch, they placed four rows, one on top of the other, breaking the joints, constituting through this medium an arch without joints (see the "General History of Architecture," by D. Daniels).

It is seen by this specimen that the cohesive form was born, like the arch, and is not any particular invention, nor originated by any given civilization, but is only the fruit of necessity, a spontaneous resource of the most ancient times.

This plainly shows that neither the brick vaults, stone vaults, nor timbrel vaults, can be said to belong to any civilization. These circumstances necessitated the creation of them in every country.

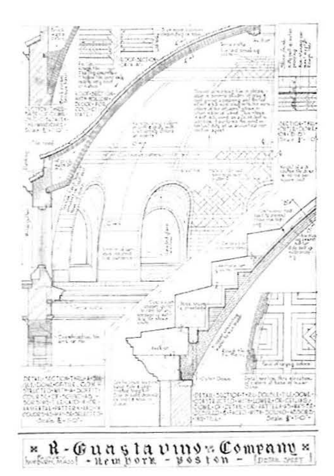
*Artículo titulado «The Theory and History of Cohesive Construction», escrito por Guastavino, publicado en la revista *The American Architect and Building News* en 1889. Este texto, una de las primeras publicaciones de Guastavino sobre bóvedas tabicadas, plantea ya algunas de las líneas de investigación que más tarde desarrollaría en su libro *Essay on the Theory and History of Cohesive Construction.* AVL



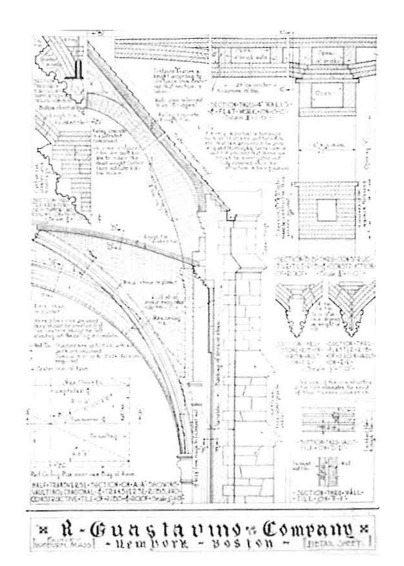
*Pennsylvania Station, Manhattan, Nueva York, 1905-1909, (Mckim Mead & White). Puente peatonal construido en la estación de Pennsylvania, en la que desarrolla una de las imágenes que aparecen en su libro. AVL

Política publicitaria

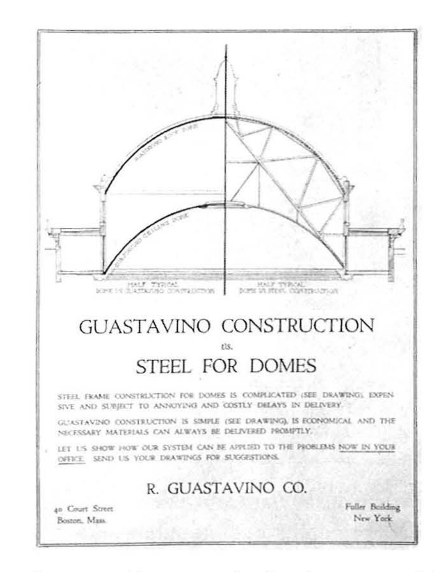
Uno de los firmes soportes de la empresa de Guastavino fue la calidad y eficacia de su línea propagandística. En ésta cabían desde los anuncios y reseñas de sus productos y procedimientos constructivos hasta la elocuente serie de folletos Sweet's Catalogue, que dan buena idea de las mejores construcciones que la Guastavino Company iba llevando a cabo. Cabe citar también el Álbum que la compañía editaba con sus principales logros; constituyó éste una de las primeras noticias recibidas en España (a través del arquitecto Mariano Belmás, que representó a Guastavino en el Congreso Internacional de Arquitectos de Madrid en 1904) acerca de las grandes bóvedas que estaba levantando al otro lado del océano. Posteriormente pasó este Álbum a ser propiedad de Luis Moya Blanco, quien divulgó parte del mismo en su célebre tratado Bóvedas tabicadas (1947). Es de recalcar cómo en todo momento la compañía supo dar rápida y convincente difusión a cuantos aspectos —algunos de ellos, puros resultados de accidentes — abundaban en la comprobación de las virtudes del sistema.



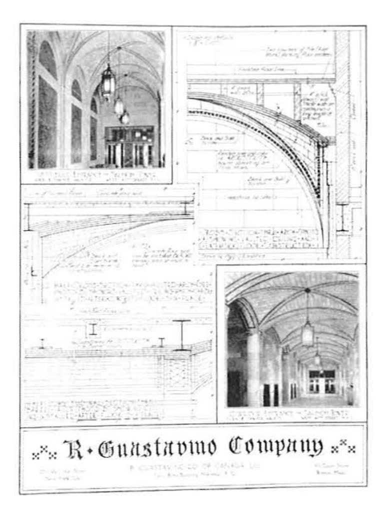
«Algunas cúpulas construidas por R. Guastavino Co». Dibujo publicitario mostrando las mayores cúpulas construidas por la compañía (ca. 1915). AVL



Dibujo que describe de manera genérica la construcción de una bóveda neogótica, con detalles acerca de la formación de los nervios, la plementería y la solución de la cubierta. Este dibujo también apareció con frecuencia en el Sweet's Catalog Service. AVL [Lámina 14]

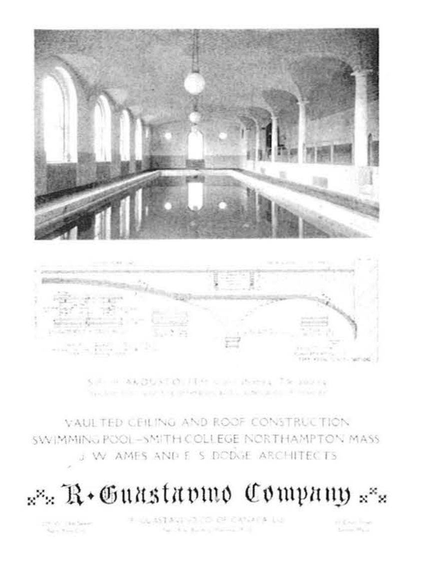


«Comparación entre cúpulas de acero y del sistema Guastavino». Este dibujo pone de relieve las ventajas de la construcción de cúpulas de ladrillo frente a las de estructura metálica. La comparación es ciertamente tendenciosa pues se compara una «buena» cúpula de fábrica con una «mala» de barras de acero. Ya Schwedler demostró hacia 1860 que las cúpulas de acero se pueden construir disponiendo las barras sobre una superficie; en este caso su comportamiento es análogo al de una delgada cúpula de fábrica. AVL

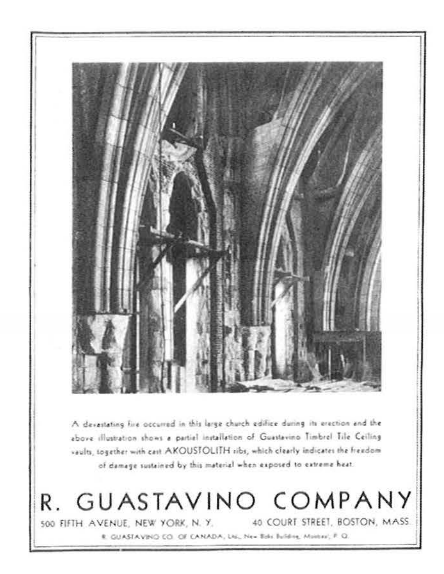


Dibujo que describe de manera genérica la construcción de una cúpula, detallando los arranques y las hojas de ladrillo a realizar. Apareció durante muchos años en el Sweet's Catalog Service, publicaciones que registraban avances en materiales y técnicas constructivas. AVL [Lámina 13]

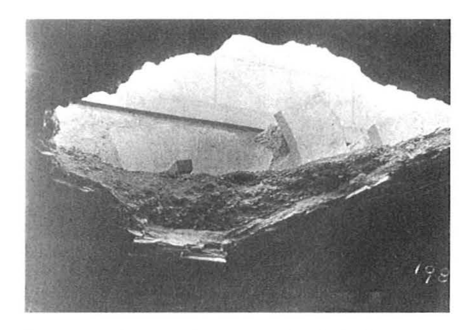
Publicidad de distintas aplicaciones del sistema de Guastavino. AVL



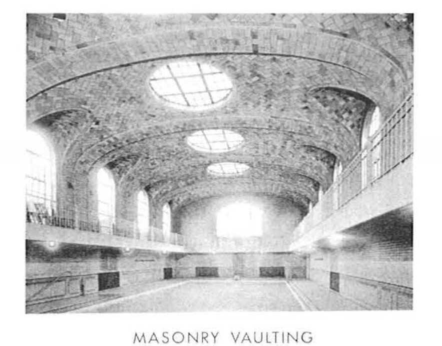
Publicidad de una bóveda con revestimiento acústico Akoustolith. Piscina del Smith College Gym. Northampton, Massachussets, 1923. (J.W. Ames & E.S. Dodge). AVL



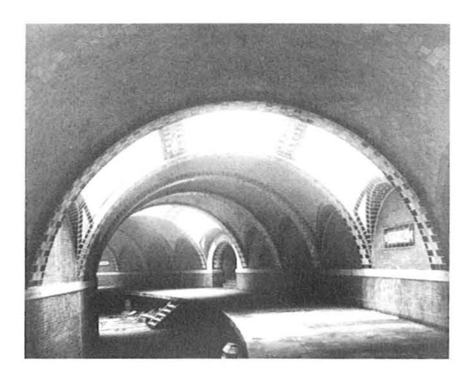
Durante la construccion de la Riverside Church se declaró un incendio en los andamios, dañando los elementos de piedra, en tanto que los nervios, construidos con Akoustolith, resultaron intactos. De nuevo la empresa Guastavino explotó publicitariamente el suceso. Iglesia de Riverside, Nueva York, 1928-1929. (Pelton, Allen&Collen). AVL



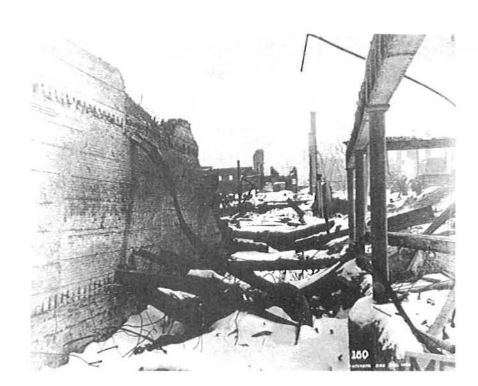
Durante la construcción de la Biblioteca Pública de Boston , un sillar de 2000 kg cayó sobre una bóveda ya construida, lo que una rotura limpia de la superficie, sin llegar a provocar su ruina. Biblioteca Pública de Boston, Boston, 1889-1890. (Mc Kim, Mead and White). Es un ejemplo del uso publicitario que la Guastavino&Co supo hacer de cuantos incidentes venían a confirmar las especiales características de sus bóvedas. Guastavino atribuía esta posibilidad de perforar un bóveda a sus cualidades cohesivas. Sin embargo, incidentes similares se han producido con bóvedas medievales «por gravedad» (por la caída de un pináculo o una campana). El fenómeno se explica, más bien, por la doble curvatura de la bóveda. AVL



Publicidad de una bóveda con revestimiento especial para ambientes húmedos Jersey City Y.M.C.A. Jersey City, Nueva Jersey, 1922-1924. (John F. Jackson). AVL



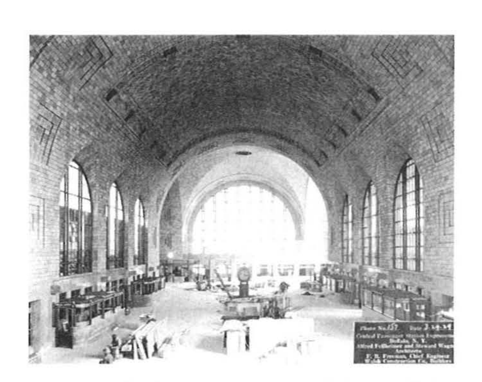
Àlbum propagandístico con el que la Guastavino&Co. mostraba los mayores logros de su sistema. Estación del metro City Hall. Nueva York.1901-1902. (Heins & LaFarge). Con ocasión del Congreso de Arquitectos que se celebró en Madrid en 1904, el arquitecto Mariano Belmás, que representaba a Guastavino con una comunicación, aportó este álbum; constituyó la primera noticia que se tenía en España de la fortuna que su sistema había alcanzado en EEUU. Posteriormente este álbum sería propiedad del arquitecto Luis Moya Blanco, que lo difundió en su célebre tratado *Bóvedas Tabicadas* (1947). AVL



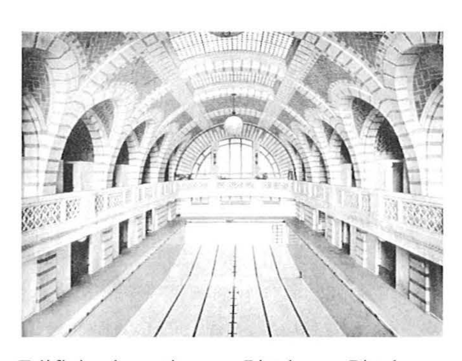
*Estado de un edificio con estructura metálica después de sufrir un incendio. Estas imágenes fueron difundidas por la empresa Guastavino para resaltar las cualidades incombustibles de sus bóvedas de ladrillo. AVL

Bóvedas cilíndricas

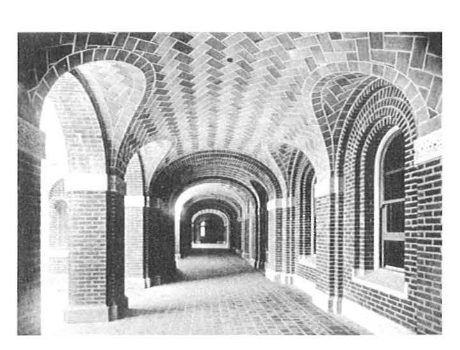
Las bóvedas cilíndricas son bóvedas de curvatura simple, generadas por rectas que siguen curvas directrices que pueden afectar distintas formas: arco de circunferencia (de medio punto o rebajado), arco de elipse, parabólico, arcos ovales... Esta sencillez de generación las hace frecuentes como cubierta de plantas en que predomina una dimensión. Para la apertura de luces es característica la solución del luneto: intersección del cilindro principal con otro transversal, de menor flecha. Un uso así mismo frecuente en este tipo de bóvedas es el de yuxtaponerse en serie, apoyadas sobre vigas, de manera que sus empujes se contrarrestan entre sí.



Estación de ferrocarril de Buffalo. Buffalo, Nueva York, 1927-1929 (Alfred Fellheimer & Steward Wagner). Vestíbulo principal durante la construcción. AVL



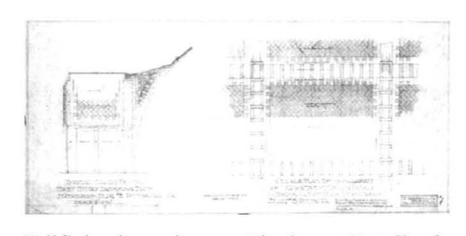
Edificio deportivo en Pittsburg. Pittsburg, Pennsylvania, 1907-1908 (Grosvenor Atterbury). Bóveda de cañón con lunetos y apertura de lucernarios como cubierta de piscina. AVL



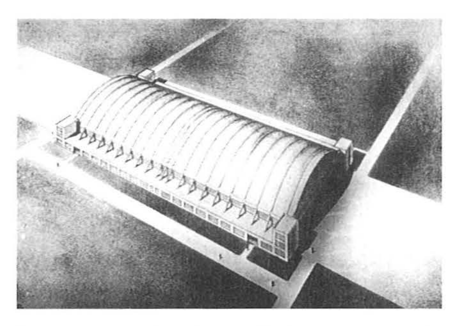
Capilla del Immaculate Conception Convent. Ferdinand, Indiana, s.f. (Victor J. Klutho).Bóveda de cañón con lunetos contrapeados. AVL



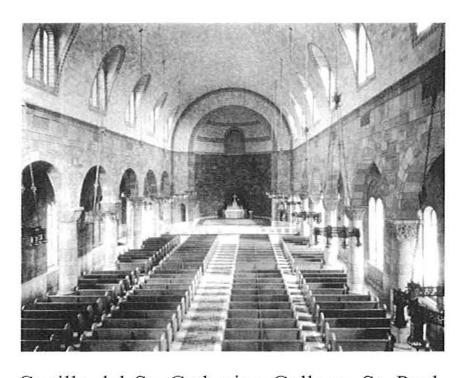
Estación de ferrocarril de Buffalo. Bóvedas cilíndricas en un corredor, cuya directriz es un arco carpanel. AVL



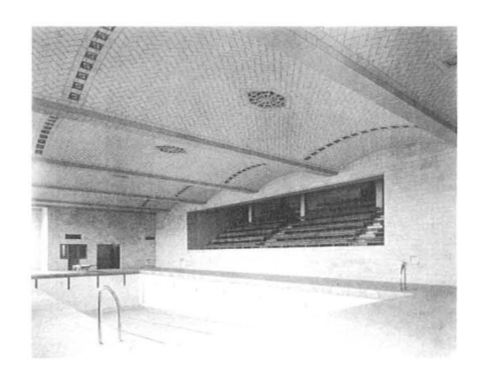
Edificio deportivo en Pittsburg. Detalle de la sección transversal y del revestimiento de la bóveda de la piscina. AVL



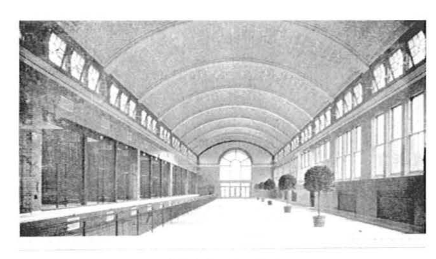
Propuesta teórica desarrollada por Guastavino Expósito para hangar de dirigibles. Este proyecto se concibe en los años 30, como respuesta a la rápida expansión en ese momento de bóvedas realizadas con láminas de hormigón armado. AVL



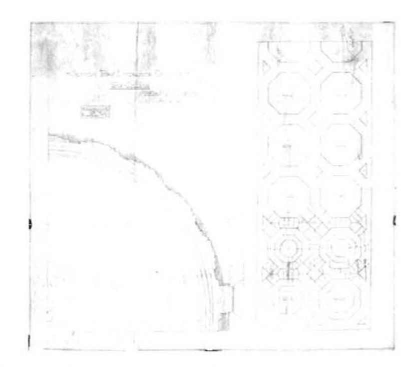
Capilla del St. Catherine College. St. Paul, Minnessota, 1923 (H. A. Sullwold). AVL



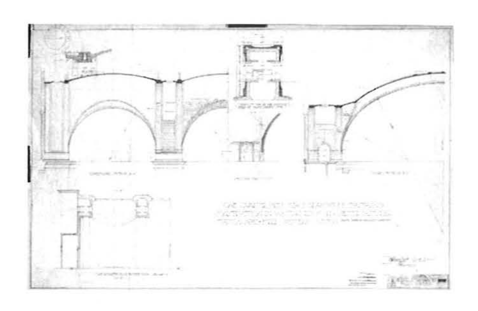
Centro deportivo del Brooklyn College. Brooklyn, Nueva York, 1935-1936 (Corbett, Harrison & MacMurray, Assoc.). Bóvedas cilíndricas rebajadas, apoyadas sobre vigas. AVL



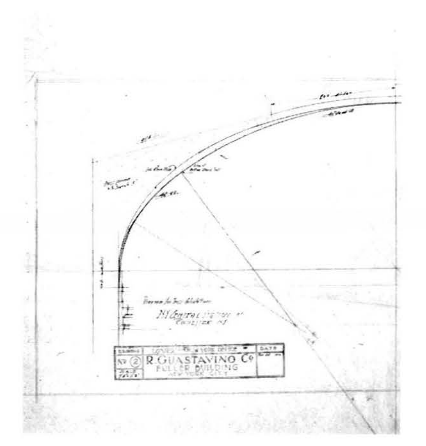
«Casa de Leones» de Lincoln Park. Chicago, Illinois, 1911-1912 (Perkings, Fellows & Hamilton). Bóveda de cañón acabada con ladrillos vidriados. AVL



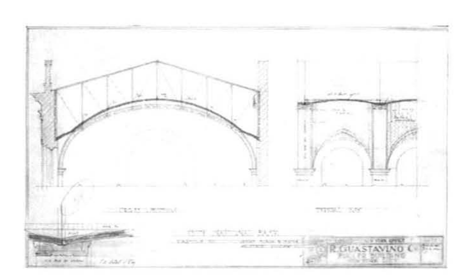
*US Army War College. Fort McNair, Washington DC, 1903-1906 (McKim, Mead & White). Sección transversal. AVL



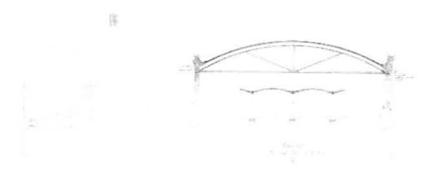
*Estación de ferrocarril de Rochester, Rochester, Nueva York, 1911-1912 (Claude Bragdon). AVL



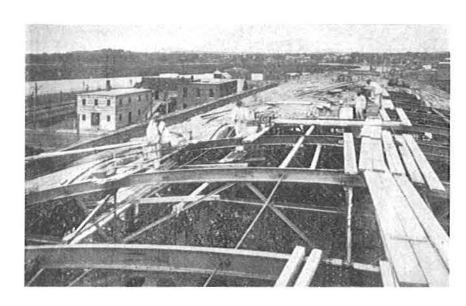
*Estación de ferrocarril de Rochester. Trazado de la directriz de la bóveda. AVL



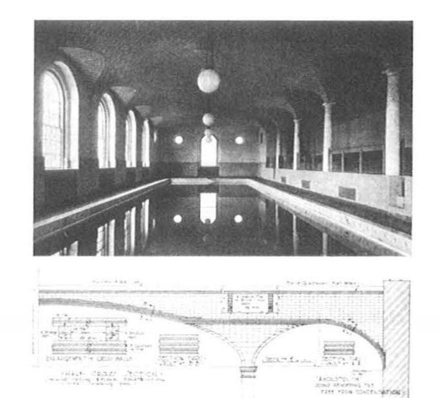
*City National Bank, Evansville, Indiana, 1912 (Jenney, Mundie & Jensen). Bóvedas de ladrillo apoyadas en una estructura metálica. AVL



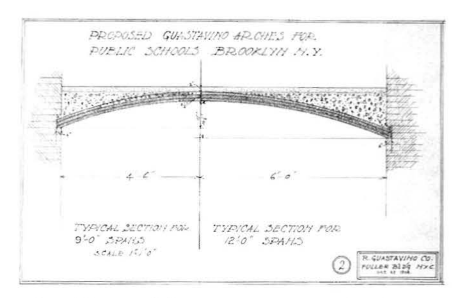
*Estación de ferrocarril, New Baltimore, Michigan, 1899, (R. H. Brown, Ingeniero). Estructura mixta, con bóvedas de ladrillo sobre cerchas metálicas. AVL



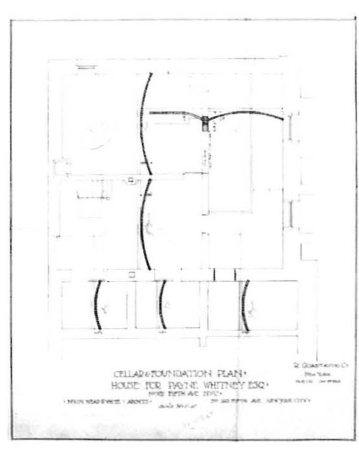
*Estación de ferrocarril *West End Street*, Boston, s.f., (Autor desconocido). Construcción de una estructura metálica sobre la que se tenderán bóvedas de ladrillo. AVL



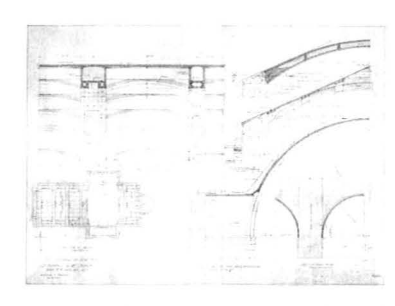
*Piscina del Smith College Gym. Northampton, Massachussets, 1923. (J.W. Ames & E.S. Dodge). Bóveda de cañón, muy rebajada, revestida con *Akoustolith*. AVL



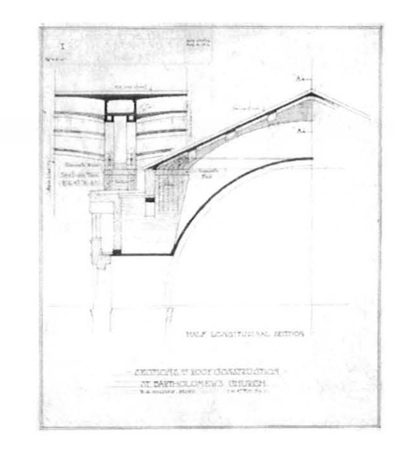
*Sección genérica propuesta por la Guastavino&Co para construir forjados en escuelas públicas, Brooklyn, Nueva York, 1908 (Rafael Guastavino). AVL



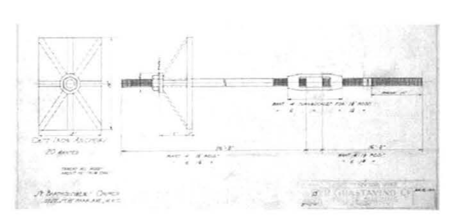
*Residencia para Payne Whitney, Manhattan, Nueva York, 1911 (McKim, Mead, & White). AVL



*Iglesia de St. Bartholomew en Park Av., Manhatttan, Nueva York, 1917-1921 (Bertram G. Goodhue). Secciones de la nave central. AVL [Lámina 16]



*Iglesia de St. Bartholomew en Park Av. Detalles de la sección AVL



*Iglesia de St. Bartholomew en Park Av. Descripción de un tirante de acero. AVL

Bóvedas por arista

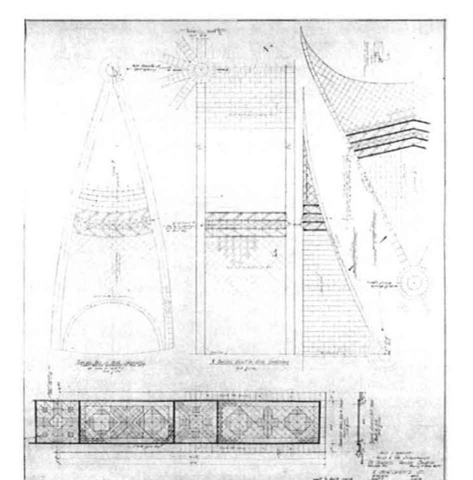
La bóveda de arista característica se define como la intersección ortogonal de dos bóvedas cilíndricas de igual luz; es una solución tradicional para cubrir espacios cuadrados sobre cuatro arcos de cabeza iguales. Las intersecciones de los dos cilindros forman entonces dos arcos de elipse, que presentan cierta dificultad en su materialización y acabado (arista saliente). Es una forma de gran importancia histórica (bóvedas romanas, románicas...). Los Guastavino usaron muy frecuentemente este tipo de bóveda, con distintas variantes: planta rectangular, arcos de cabeza rebajados o de directriz no circular, continuas o reforzando las aristas con nervios.



Grand Central Station. Bóvedas de los corredores, estado actual. Manhattan, Nueva York, 1911-1913 (Reed and Stem, Warren&Wetmore). ST



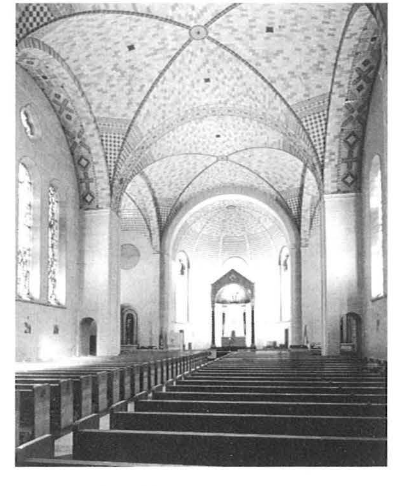
Estación de ferrocarril de Buffalo. Buffalo, Nueva York, 1927-1929. (Alfred Fellheimer & Steward Wagner). AVL



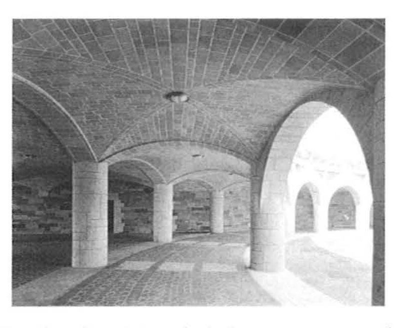
Iglesia de San Francisco Javier. Plano de detalle del aparejo. AVL



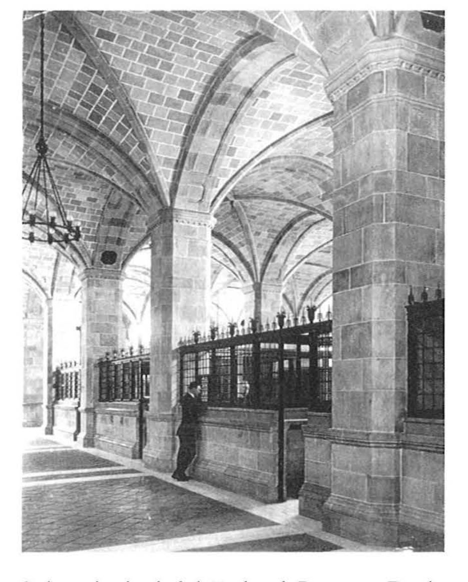
Chizuic Ammuno Temple. Baltimore, Maryland, 1922 (Jos. Evans Sperry). AVL



Iglesia de San Francisco Javier. Newark. New Jersey. 1949-1954 (Fanning & Shaw). Vista del interior. AVL



Bóvedas de arista rebajadas en un paso elevado. Brooklyn, Nueva York, 1936-1937 (Madigan-Hyland, Engineers). AVL



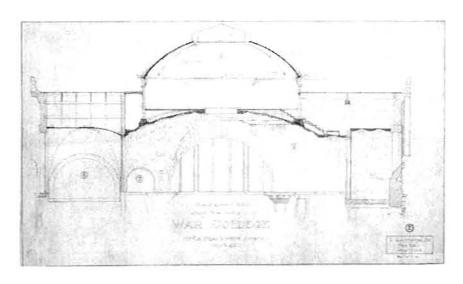
Sala principal del Federal Reserve Bank. Manhattan, Nueva York, 1923-1924. (York & Sawyer). AVL



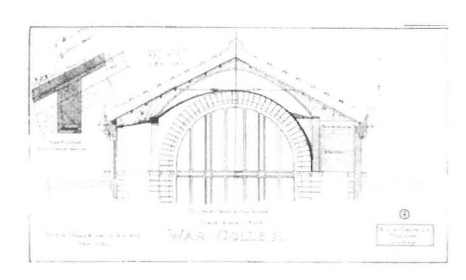
VAULTED ceilings in Guastavino Timbrel Arch Construction designed to carry extremely heavy loadings in supporting floor and altar above. This all masonry construction (no steel) can be designed to meet unusual conditions in carrying heavy loads over large spans



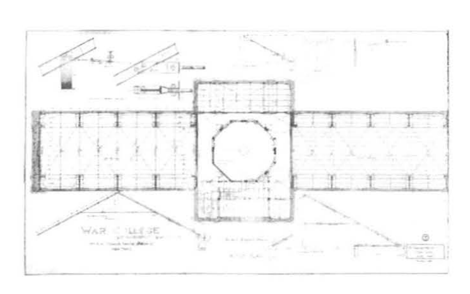
Cripta del National Shrine of Immaculate Conception. Washington, Washington DC, 1920-1960 (Maginnis & Walsh). AVL

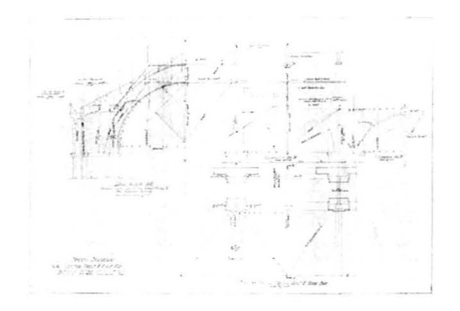

US Army War College. Fort McNair, Washington DC, 1903-1906 (McKim, Mead & White). Sección transversal. AVL [Lámina 17]


US Army War College. Detalle del aparejo de la cúpula central.


*US Army War College. Sección transversal por las bóvedas de las "naves"

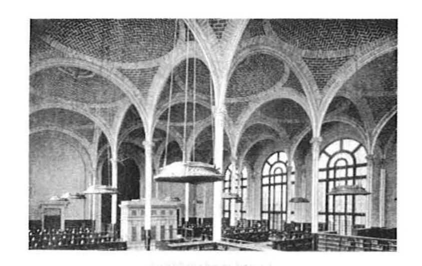

US Army War College. Vista del exterior. AVL


*US Army War College. Planta general. AVL

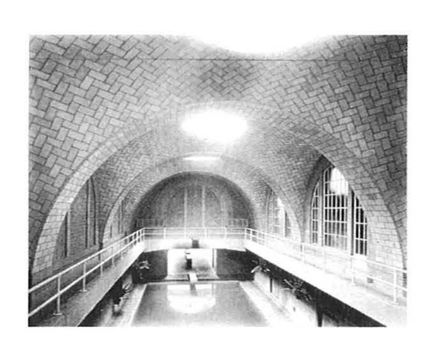

*US Army War College. Cálculos realizados por la Guastavino&Co para las bóvedas, mediante estática gráfica.

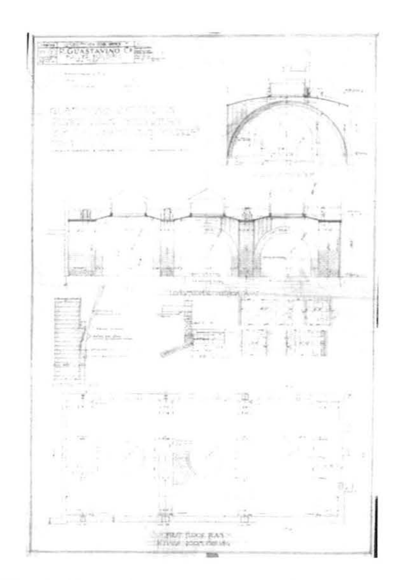
Bóvedas vaídas.

La bóveda vaída se origina como superficie esférica que cubre una planta cuadrada (esto es, cortando la esfera por cuatro planos verticales); tiene, por tanto, como la bóveda de arista, cuatro arcos de cabeza iguales, pero, al estar constituida por una esfera, la clave de la misma está a cota superior de las de dichos arcos, produciendo un efecto acupulado. La práctica constructiva, dependiendo del proceso seguido, puede aproximarse o bien ajustarse exactamente a esta generación geométrica (por ejemplo cuando se utiliza un hilo o cintrel que materializa el lugar geométrico de la esfera; así se realizó —con aparejo en círculos concéntricos — la gran bóveda vaída de St. John the Divine). Las bóvedas vaídas, al apoyarse en cuatro puntos, facilitan las uniones con otros elementos estructurales (pies derechos, arcos...) y permiten yuxtaposiciones de módulos que contrarrestan sus empujes entre sí. Posibilitan también una fácil apertura de óculos en sus centros. Es ésta una bóveda también muy utilizada por la Guastavino Co., tanto sobre planta cuadrada como adaptada a plantas rectangulares o incluso escapando estrictamente de la superficie esférica, sobre arcos de cabeza no circulares.

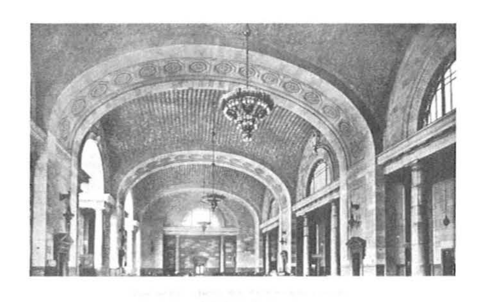

Biblioteca del New York State Education Building. Albany, Nueva York, 1908-1911 (Palmer & Hornbostel). Detalle de las bóvedas, estado actual. AVL


Biblioteca del New York State Education Building. Vista general. AVL

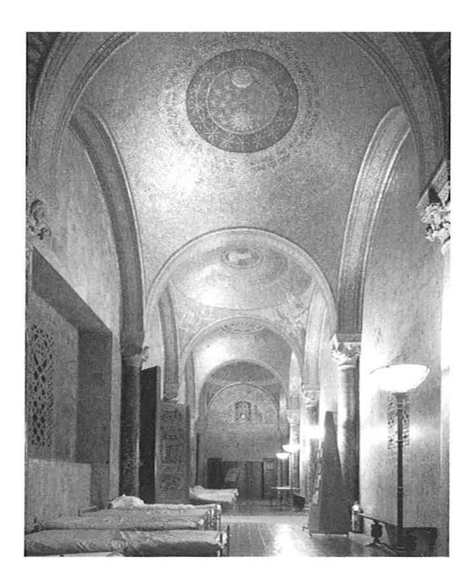

Depósito de agua en Youngstown Y.M.C.A Youngstown, Ohio, 1914 (Jackson, Rosencrans & Waterbury). Vista del interior. AVL



*Depósito de agua en Youngstown Y.M.C.A. Planta, sección longitudinal y detalles de encuentros y aparejos. AVL [Lámina 18]



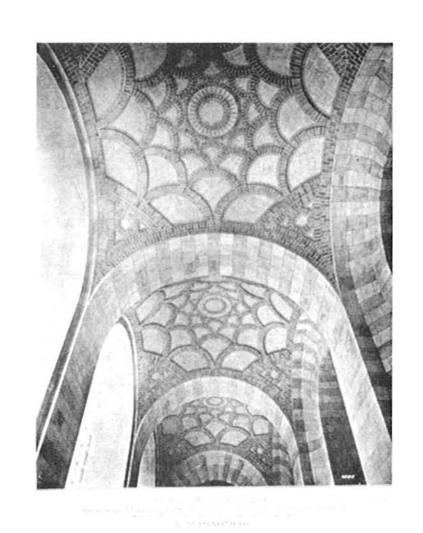
Estación de ferrocarril para el Detroit River Tunnel. Detroit, Michigan, 1912 (Warren & Wetmore). AVL



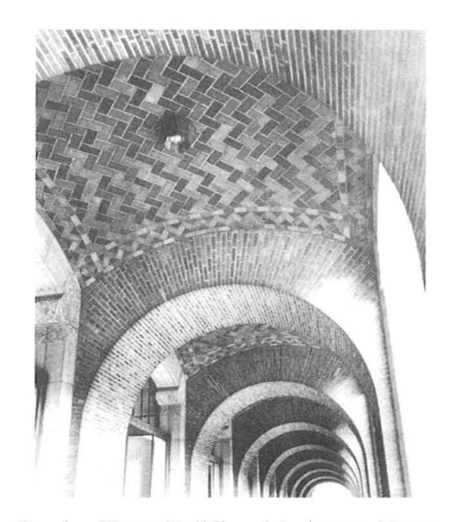
Iglesia de St. Bartholomew en Park Av. Manhatttan, Nueva York, 1917-1921 (Bertram G. Goodhue). Bóvedas del atrio. ST



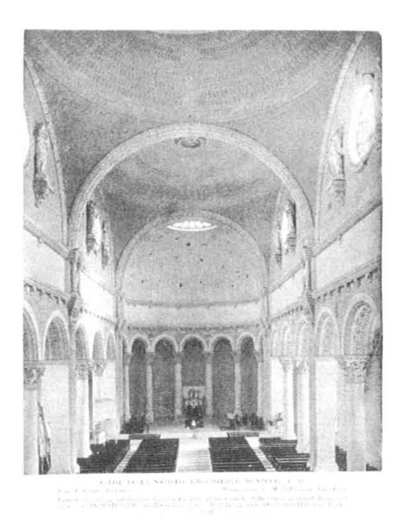
Iglesia de St. Bartholomew . Vista del exterior, estado actual. RF



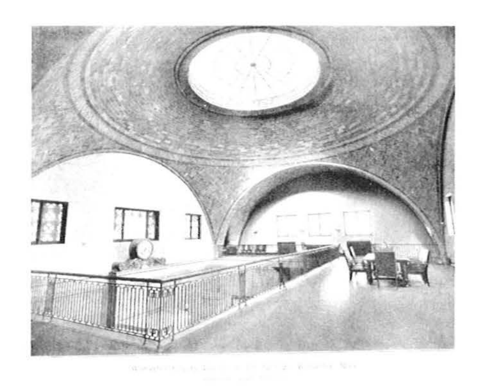
City and County Building. Pittsburg, Pennsylvania 1915-1916 (Edw. B. Lee, Palmer, Hornbostel & Jones). AVL



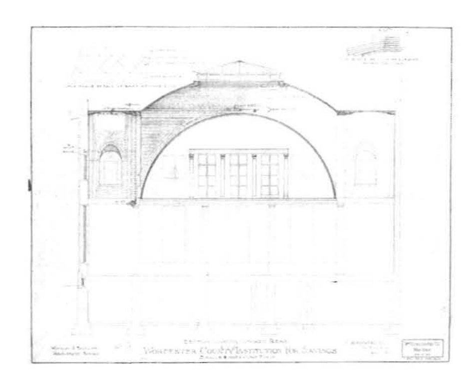
Barclay-Vesey Building. Manhattan, Nueva York, 1924-1926 (McKenzie, Voorhees, & Gmelin). AVL



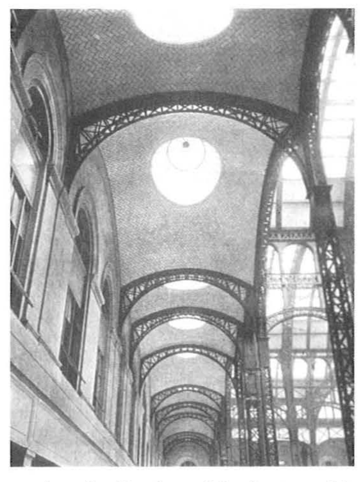
Iglesia de la Nativité d'Hochelaga. Montreal, Canadá, 1912-1923 (Viau & Venne). AVL



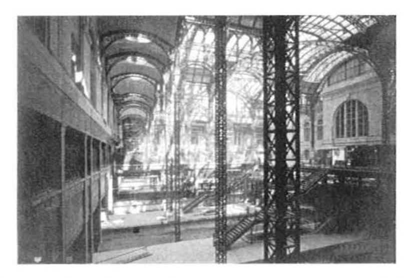
Edificio bancario Worcester County Institution for Savings. Worcester, Massachussets, 1905-1906 (Winslow and Bigelow). AVL



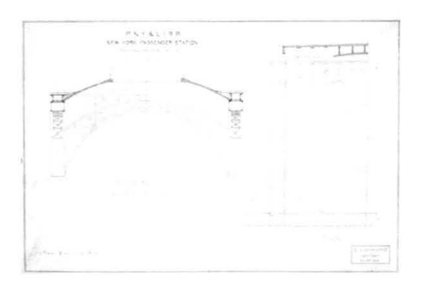
*Edificio bancario Worcester County Institution for Savings. Sección por la bóveda. AVL



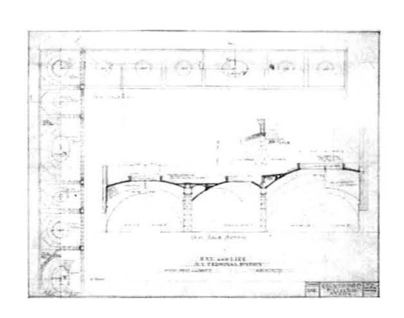
Pennsylvania Station. Manhattan, Nueva York, 1905-1909. (Demolido en 1963) (McKim, Mead & White). Bóvedas de ladrillo sobre estructura metálica en las naves laterales. AVL [Lámina 19]



Pennsylvania Station. Vista general del interior. AVL



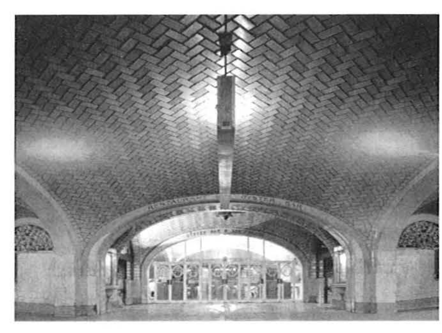
Pennsylvania Station. Sección de una bóveda. AVL



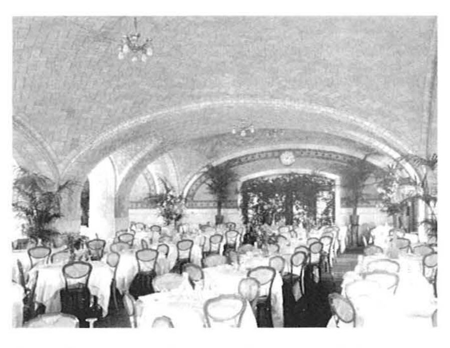
Pennsylvania Station. Planta y sección del conjunto. AVL



Grand Central Station. Manhattan, Nueva York, 1911-1913 (Reed and Stem, Warren&Wetmore). Vista del exterior, estado actual. ST



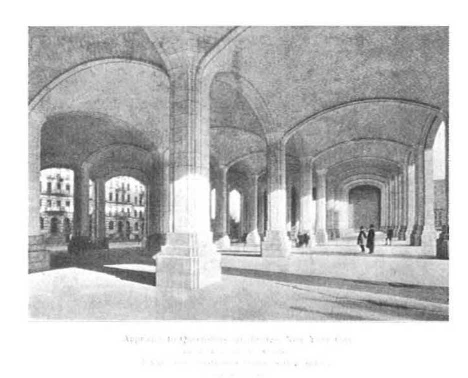
Grand Central Station. Galerias interiores con la entrada al Oyster Bar al fondo. ST



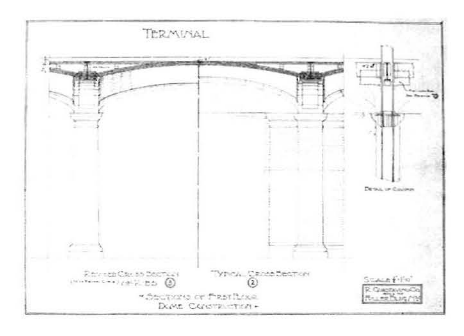
Grand Central Station. Interior del Oyster Bar. ST



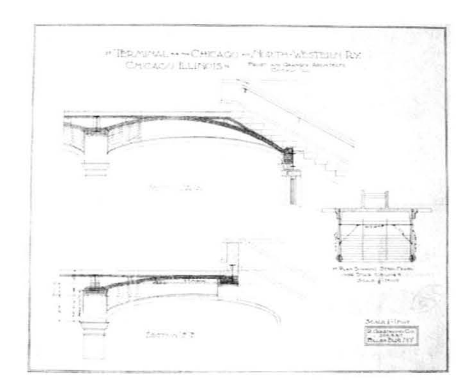
Puente de Queensborough. Manhattan, Nueva York, 1917 (Palmer & Hornbostel). Vista general del puente, estado actual. JM



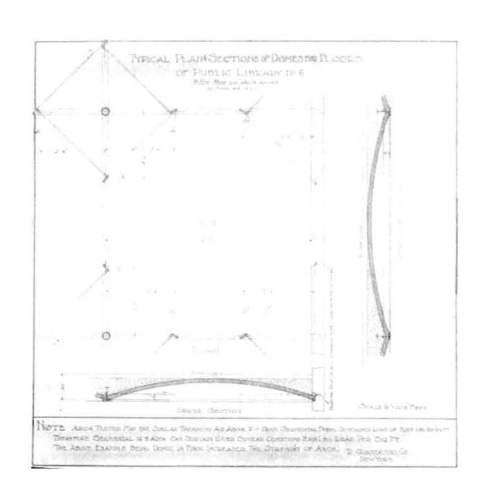
Puente de Queensborough. Espacio abovedado, abierto, bajo el puente. AVL



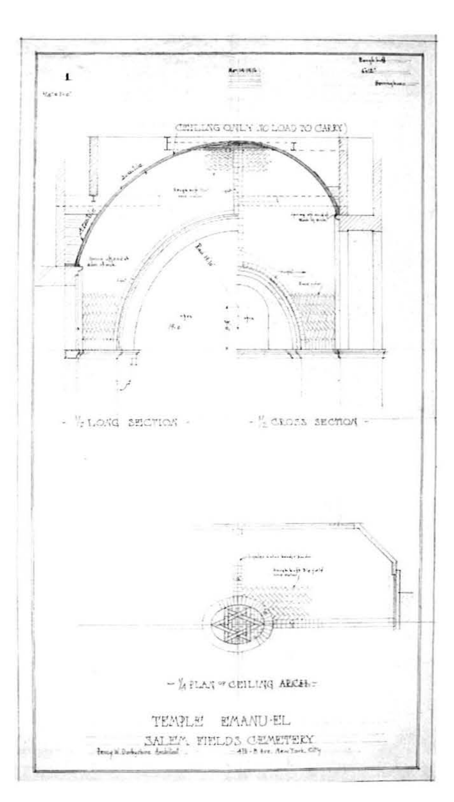
*Estación de ferrocarril North Western Railway, Chicago, Illinois, 1908-1910 (Frost & Grange). Sección de una bóveda tipo, apoyada en cuatro arcos ya atirantada por perfiles de acero. AVL [Lámina 20]



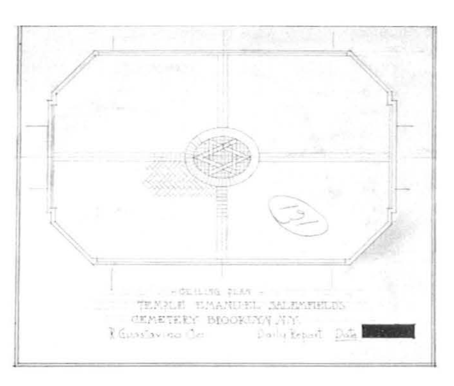
*Estación de ferrocarril North Western Railway. Encuentro de una bóveda tipo con la escalera. AVL [Lámina 20]



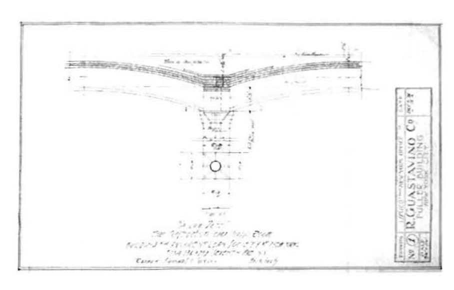
*Biblioteca pública nº6, Manhattan, Nueva York, 1903 (McKim, Mead & White). Planta y secciones de las bóvedas de los forjados AVL



*Templo de Emanu-el, Salem Fields Cemetery, Brooklyn, Nueva York, 1916 (Percy W. Darbyshire). Planta y secciones por los dos ejes principales. AVL [Lámina 21]



*Templo de Emanu-el. Planta. AVL



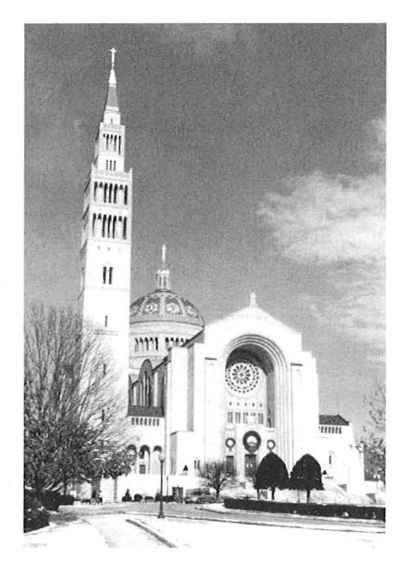
*Oficinas para la Provident Loan Society, Manhattan, Nueva York, 1908 (Renwick, Aspinwall & Tucker). Detalle del encuentro de una bóveda con elarco en que apoya. AVL

Cúpulas

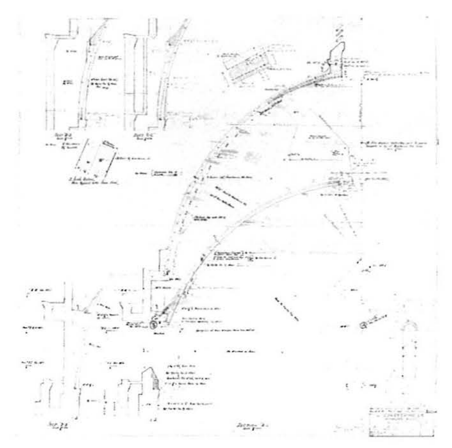
La cúpula, generalmente con forma esférica, es el tipo de bóveda que más utilizó la Guastavino Co. en sus distintos períodos: simples o de doble hoja, con muy distintas luces,con óculos, linternas o sobre tambor, más o menos rebajadas... De hecho se puede afirmar que los Guastavino están entre los grandes maestros de la construcción de cúpulas de toda la historia de la arquitectura. El valor simbólico de la cúpula resultó muy adecuado para los grandes espacios centrales ideados por los Guastavino y, en los muchos templos que llegaron a levantar, para destacar y sacralizar —al modo tradicional- el encuentro de las naves en el crucero. La cúpula, por su propia generación geométrica, es una bóveda que de siempre ha tenido la facilidad de ser construida con escasos medios auxiliares, sin recurrir a costosos encimbrados. El procedimiento de Guastavino permitió cerrar cúpulas de grandes luces, levantadas en el vacío.

Muchas de las cúpulas de los Guastavino, debido a su ligereza y la consiguiente disminución de empujes, se construyeron según directriz marcadamente rebajada; ello es especialmente adecuado al caso —como en las criptas- en que sobre su trasdós ha de apoyar un suelo.

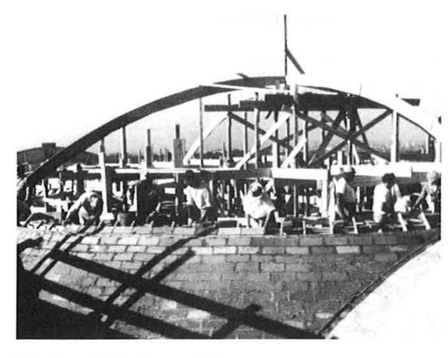
La Guastavino Co. también realizó en ocasiones espléndidas cúpulas cuya planta se aparta de la circunferencia y —aun manteniendo el carácter central- adopta forma oval o elíptica; el sistema de Guastavino resolvía eficazmente este caso en que la ejecución se complica notablemente respecto de la bóveda esférica.



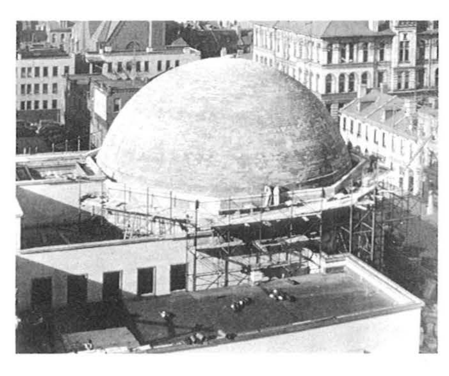
National Shrine of Immmaculate Conception. Washington, Washington DC, 1920-1960 (Maginnis & Walsh). Vista del exterior, estado actual. JO



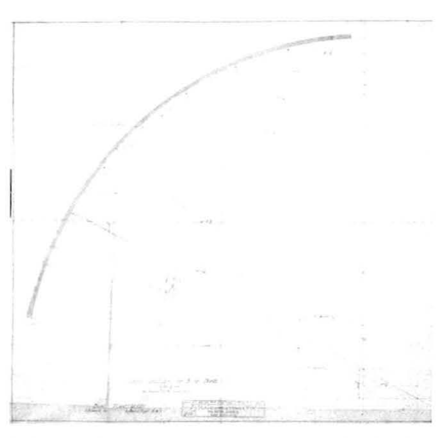
National Shrine of Immmaculate Conception. Sección de la cúpula y detalle de los arranques. AVL [Lámina 22]



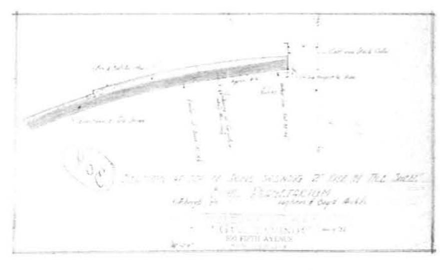
National Shrine of Immmaculate Conception. La cúpula en construcción, con las guias de madera para control de la forma. AVL



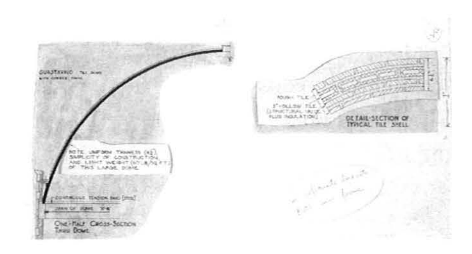
Planetario Buhl. Pittsburg, Pennsylvania, 1938 (Ingham & Boyd). La cúpula en construcción. AVL



*Planetario Buhl. Sección de la cúpula, indicando los radios de curvatura. AVL



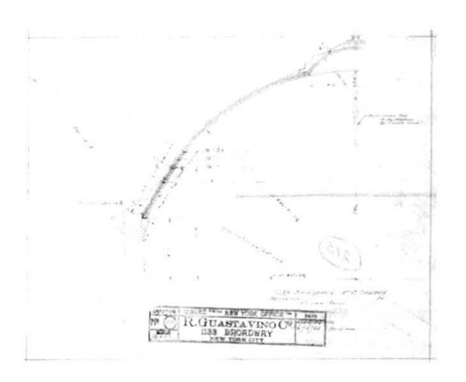
*Planetario Buhl. Detalle de la zona superior de la cúpula. AVL



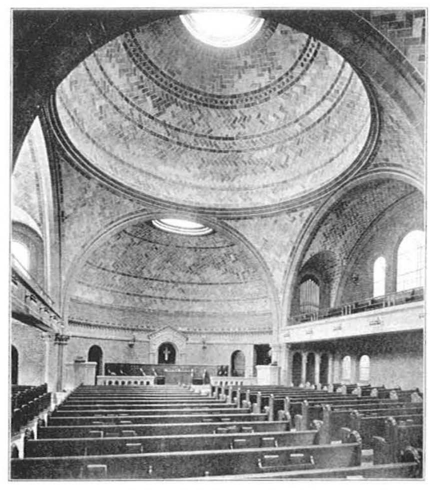
*Planetario Buhl. Croquis indicando la composición de las diversas hojas que conforman la cúpula. AVL



Iglesia de St. Boniface. Pittsburg, Pennsylvania, 1925-1926 (A. F. Link & Associates). Vista el interior. AVL



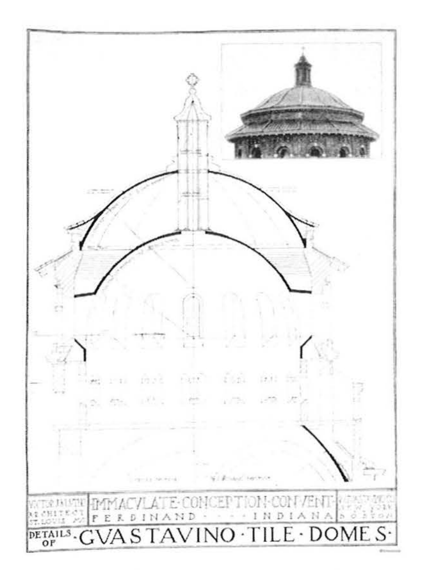
*Iglesia de St. Boniface. Sección por la cúpula, especificandolo diferentes radios de curvatura de la misma. AVL



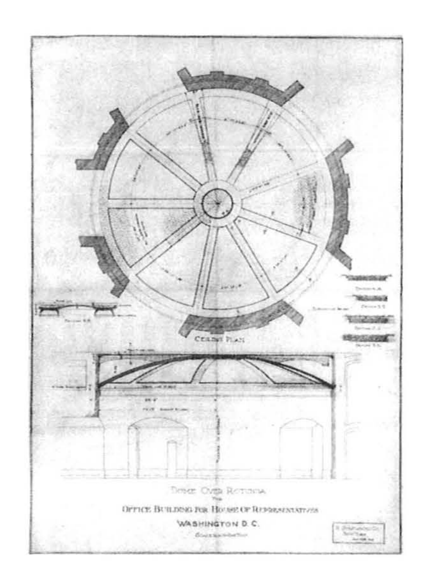
Amity Baptist Church, New York City

R. GUASTAVINO CO.

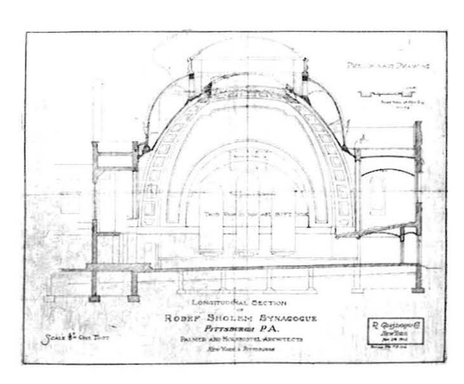
Amity Baptist Church. Manhattan, New York, 1907-1908 (Rossiter & Wright). AVL



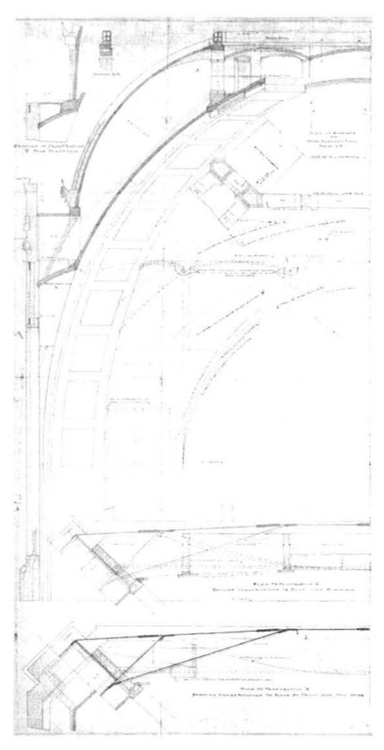
Capilla en el Immaculate Conception Convent. Ferdinand, Indiana, s.f. (Victor J. Klutho). Sección descriptiva de la cúpula. AVL



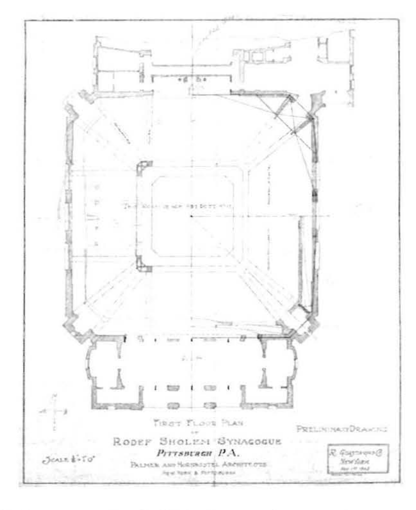
House of Representatives office building. Washington DC, 1905. Planta y sección de la cúpula rebajada de la zona de entrada. AVL



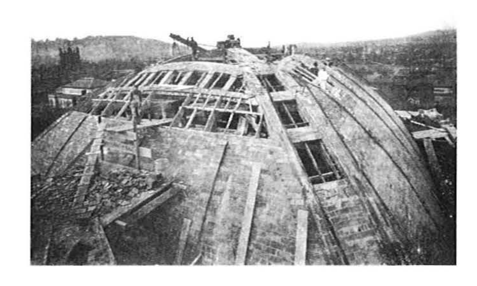
Sinagoga Rodef Sholem, Pittsburg, Pennsylvania, 1906-1908 (Palmer & Hornbostel). Sección longitudinal. AVL



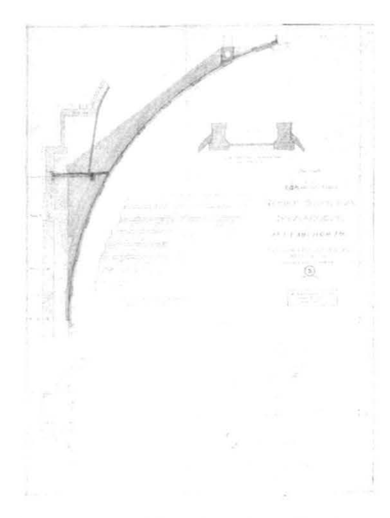
*Sinagoga Rodef Sholem. Sección por la cúpula y planta de la estructura metálica en la base. AVL [Lámina 23]



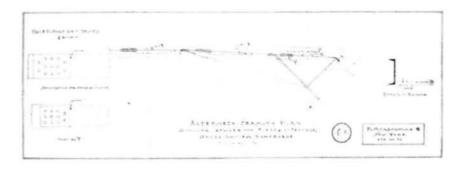
*Sinagoga Rodef Sholem. Planta. AVL



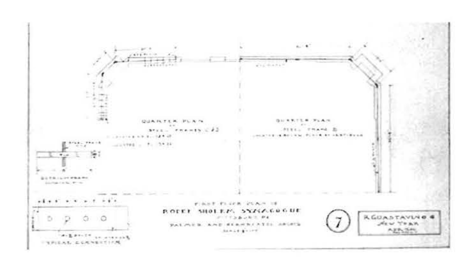
*Sinagoga Rodef Sholem. Cúpula en construcción. AVL



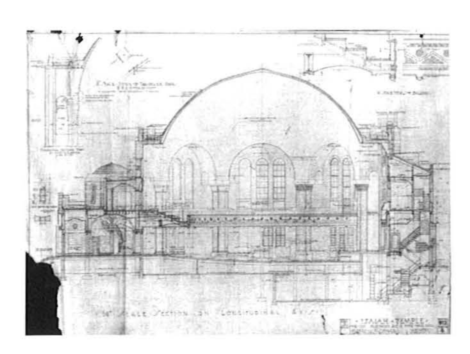
*Sinagoga Rodef Sholem. Detalle de un de los nervios de la cúpula. AVL



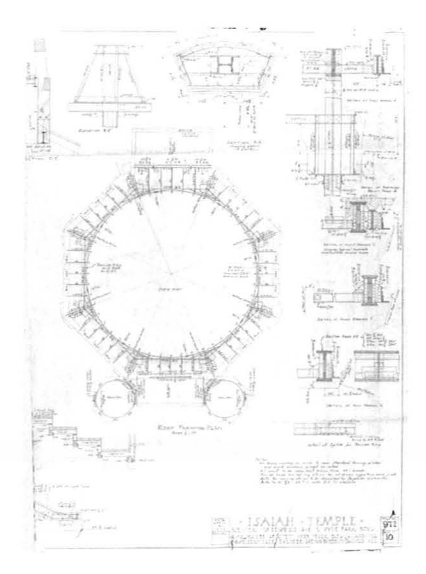
*Sinagoga Rodef Sholem. Detalles de los zunchos en la base de la cúpula. AVL



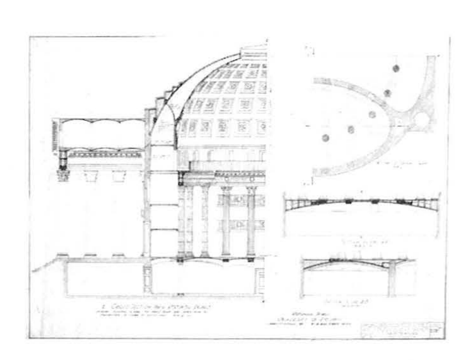
*Sinagoga Rodef Sholem. Planta de los zunchos. AVL



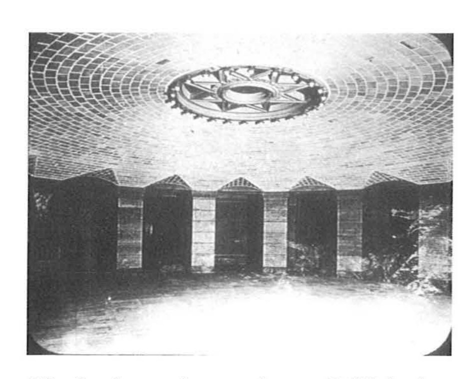
Templo Isaiah. Sección longitudinal. Chicago, Illinois, ca.1920 (Alfred S. Alschuler). AVL



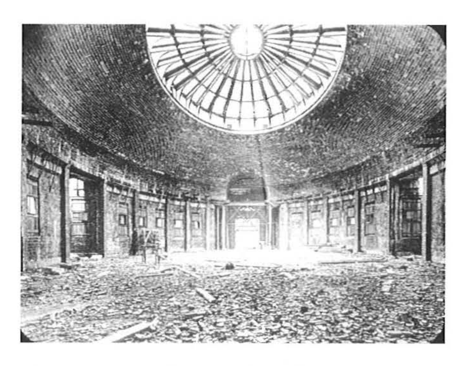
*Templo Isaiah. Planta y detalles de la estructura metálica en la base de la cúpula. AVL



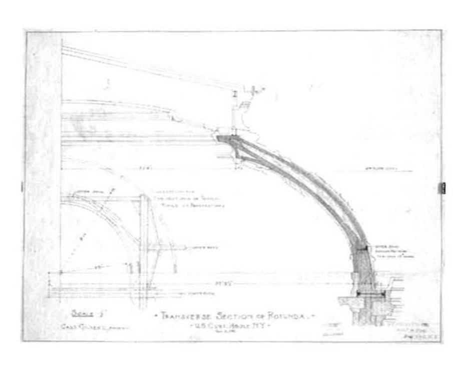
Biblioteca de la Universidad de Virginia. Charlottesville, Virginia, 1897. (Mc Kim, Mead and White). Descripción de la cúpula. AVL [Lámina 24]



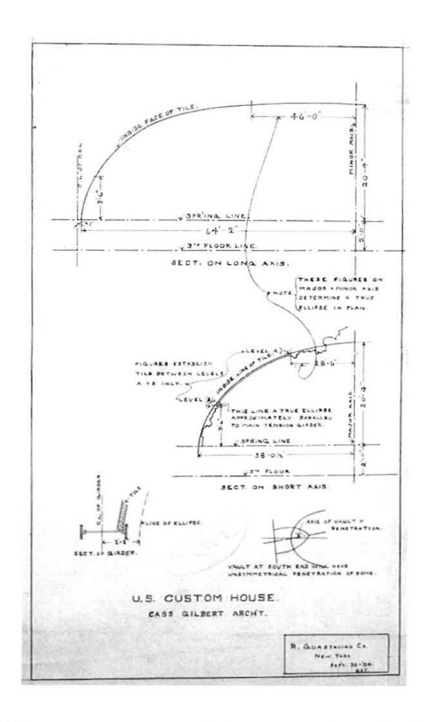
Cúpula plana sobre machones. Edificio desconocido.



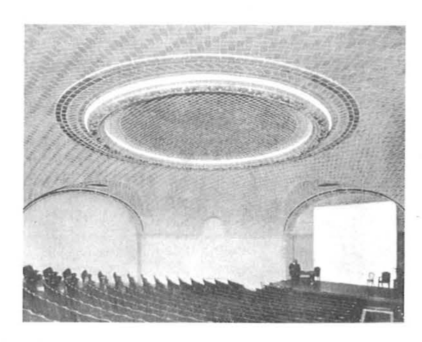
US Custom House. Manhattan, Nueva York, 1901 (Cass Gilbert). Cúpula elíptica sobre planta oval, en construcción. AVL [Lámina 25]



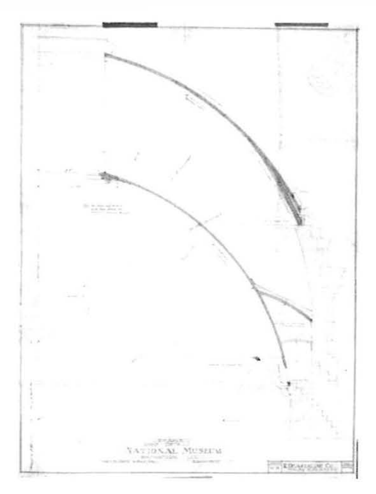
US Custom House. Manhattan. Sección constructiva de la cúpula. AVL



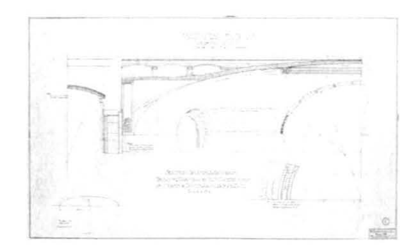
*US Custom House. Manhattan. Croquis de trabajo. AVL



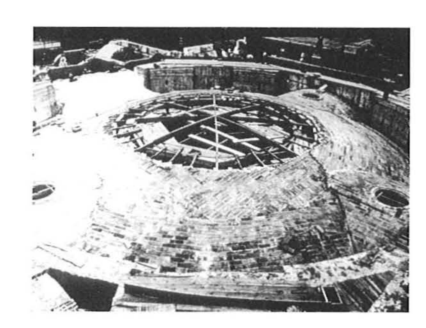
National Museum. Washington, Washington DC, 1906 (Hornblower & Marshall). Vista del interior acabado. AVL



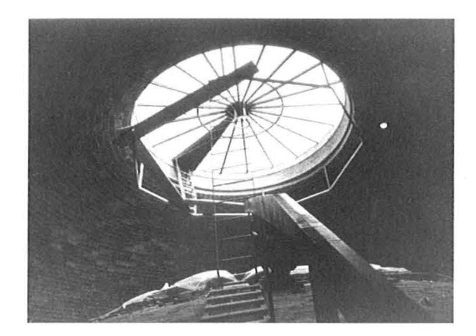
*National Museum. Sección por la cúpula, de doble cáscara, especificando los radios de curvatura de ambas superficies. AVL [Lámina 26]



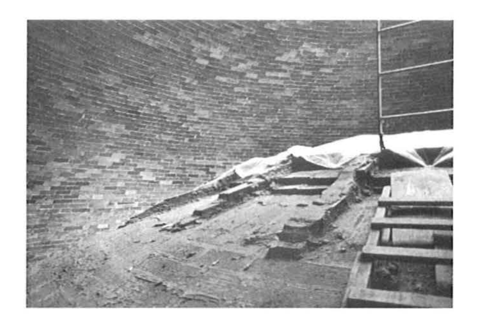
*National Museum. Sección de la cúpula rebajada utilizada como forjado de la cripta AVL.



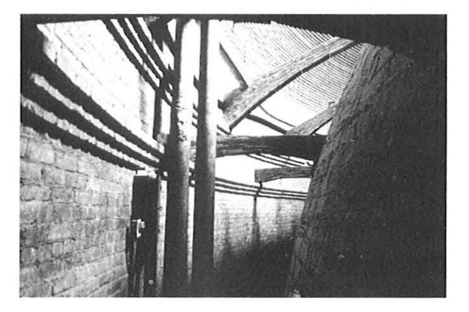
National Museum. Trasdós de la cúpula en construcción. AVL [Lámina 27]



*National Museum.Intradós de la cúpula en construcción AVL



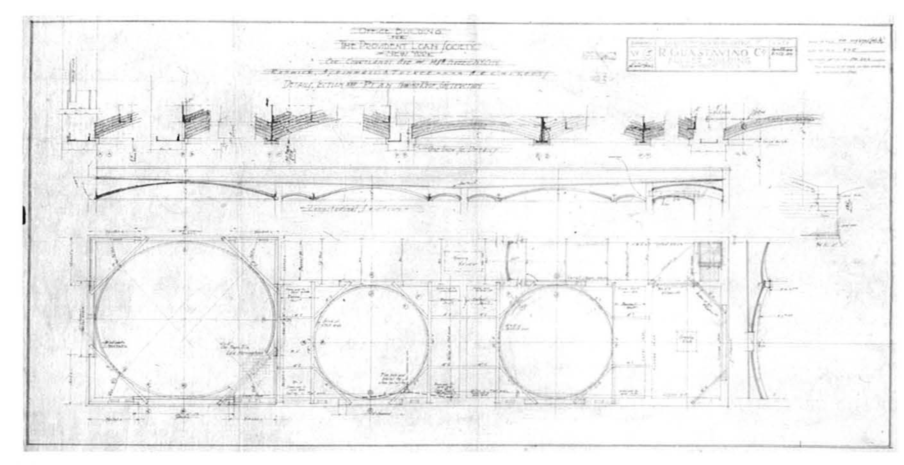
*National Museum. Trasdós de la cúpula en construcción, detalle del óculo. AVL



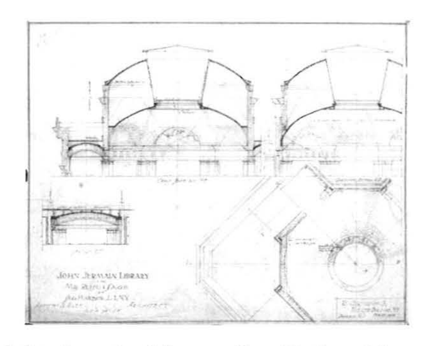
*National Museum.Trasdós de la cúpula en construcción, costillas que unen ambas cáscaras. AVL



*National Museum. Detalle de las costillas AVL [Lámina 27]



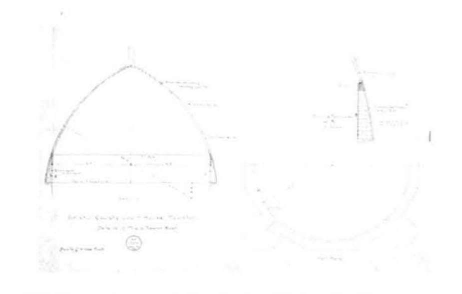
Oficina para la Provident Load Society, Bronx, Nueva York, 1909 (Renwick, Aspinwall & Tucker). Planta y sección de las bóvedas. AVL



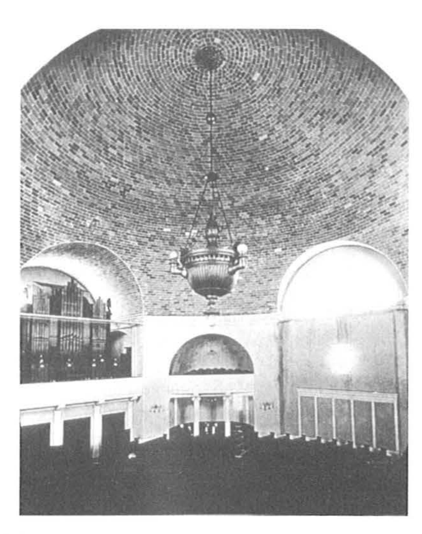
John Jermain Library, Sag Harbor, Nueva York, 1909 (Augustus N. Allen). Planta y sección de la doble cúpula, con óculo central. AVL [Lámina 28]



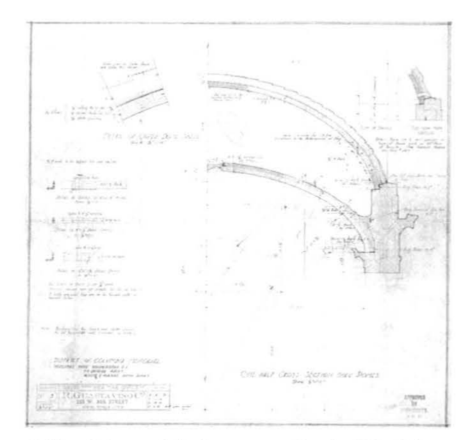
National Shrine of Immmaculate Conception, Washington, Washington DC, 1920-1960 (Maginnis & Walsh). Capilla de la cúpula, estado actual. JO



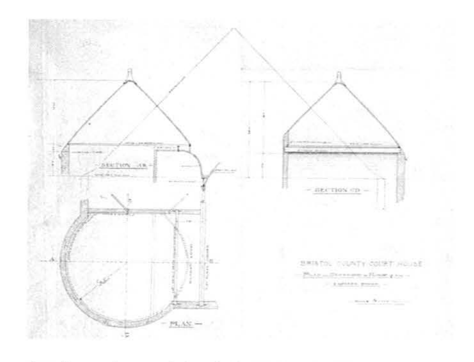
*Tribunal municipal de Bristol, Taunton, Massachusetts, 1891-1892 (Frank Irving Cooper). Planta y sección de una cúpula. AVL



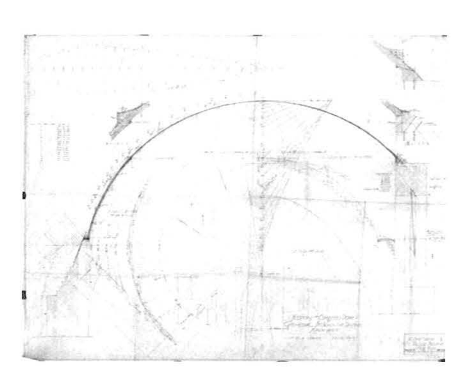
*Grace Universalist Church, Lowell, Massachusetts, 1895 (Wm. Chester Chase). Vista del interior. AVL



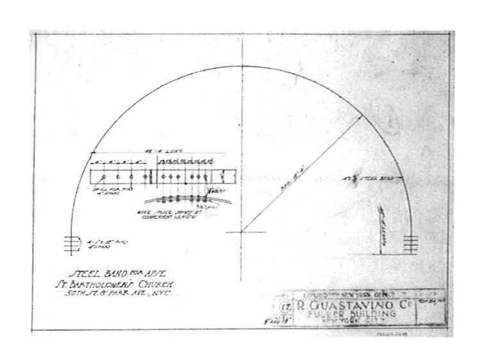
*War Memorial, Potomac Park, Washington DC, 1931 (James Baird Co). Sección por la cúpula, con los radios de curvatura de la misma y detalles de los zunchos perimetrales. AVL



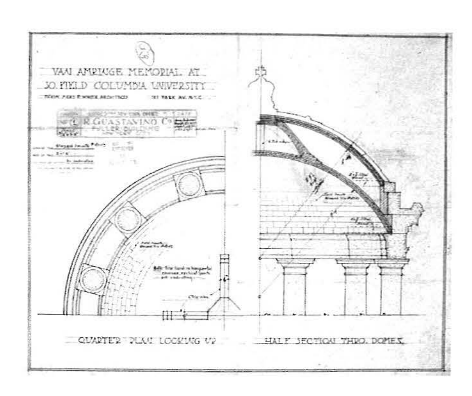
*Tribunal municipal de Bristol. Planta y sección de una cúpula de perfil cónico. AVL



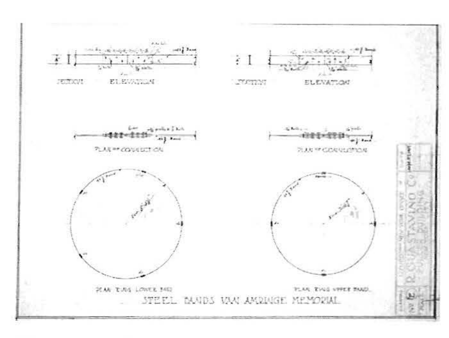
*Catedral de St John the Divine. Determinación del peso de la cúpula y cálculo mediante estática gráfica. AVL



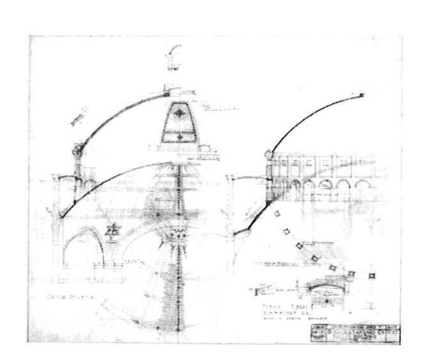
*Iglesia de St. Bartholomew en Park Av. Detalle de los zunchos. AVL



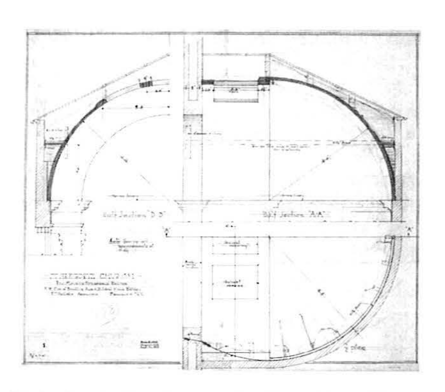
*Van Amringe Memorial, Manhattan, Nueva York, 1917 (McKim, Mead & White). Planta y sección de la cúpula. AVL



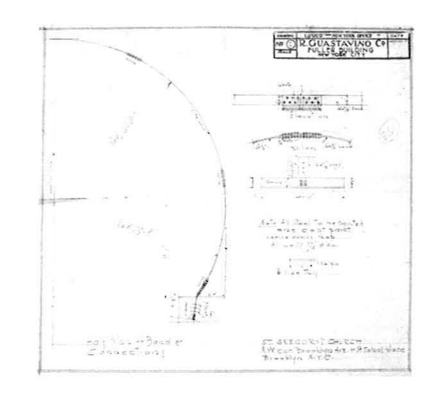
*Van Amringe Memorial. Detalle de los zunchos. AVL



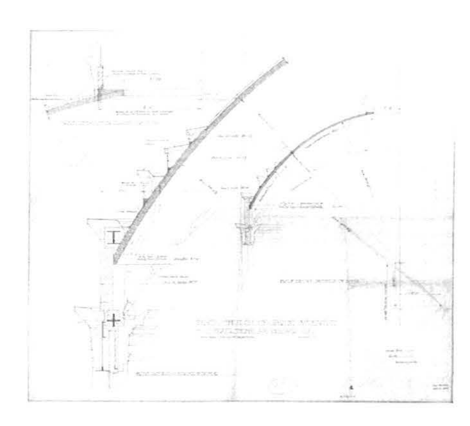
*Templo de Emanuel, Birmingham, Alabama, 1911 (William C. Weston). Secciones de la cúpula. AVL [Lámina 29]



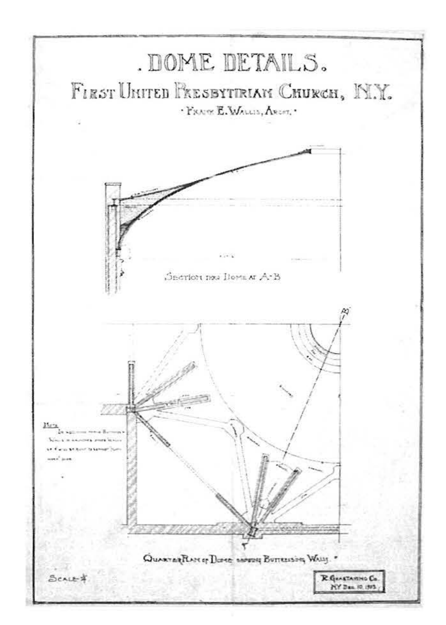
*Iglesia de St. Gregory's, Brooklyn, Nueva York, 1915 (Frank J. Helmle). Planta y secciones de la cúpula. AVL



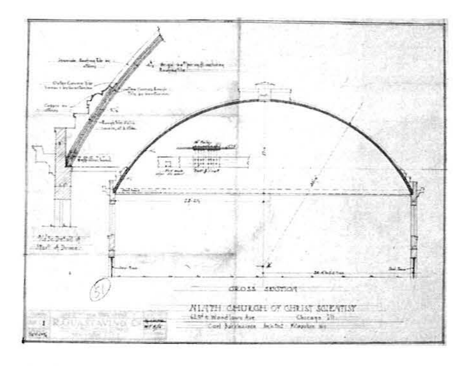
*Iglesia de St. Gregory's. Detalle de los zunchos. AVL



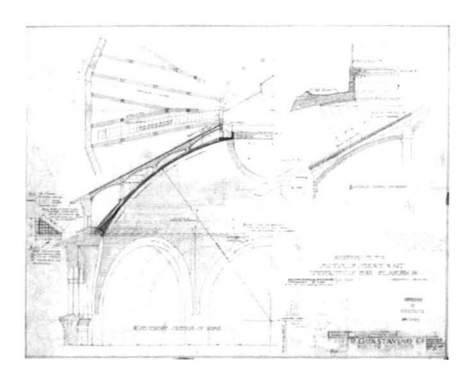
*Tenth Church of Christ, Chicago, Illinois, 1917 (Coolidge & Hodgdon). Sección por la cúpula y detalle de los arranques. AVL



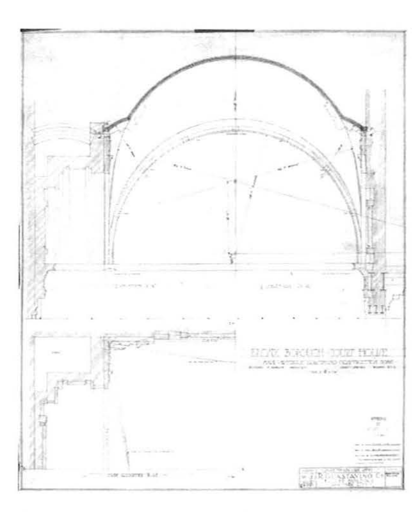
*First United Presbyterian Church, Manhattan , Nueva York, 1903-1904 (Frank E. Wallis) AVL



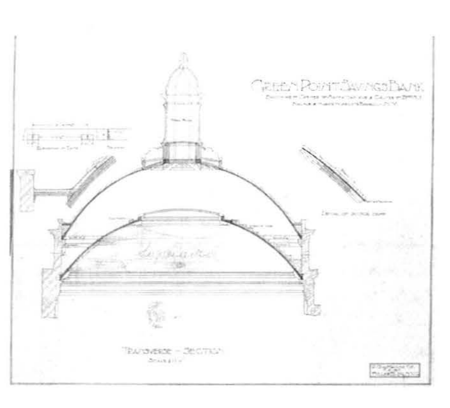
*Ninth Church of Christ, Scientist, Chicago, Illinois, 1916 (Carl Barkhausen). Sección por la cúpula y detalle de los arranques. AVL



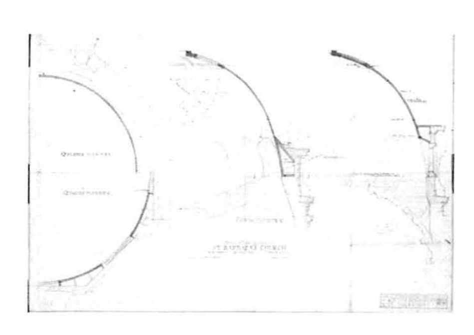
*Museo de la Universidad de Pennsylvania , Philadelphia, Pennsylvania, 1912-1927 (Wilson Eyre & McIlvaine). Sección por la cúpula. AVL



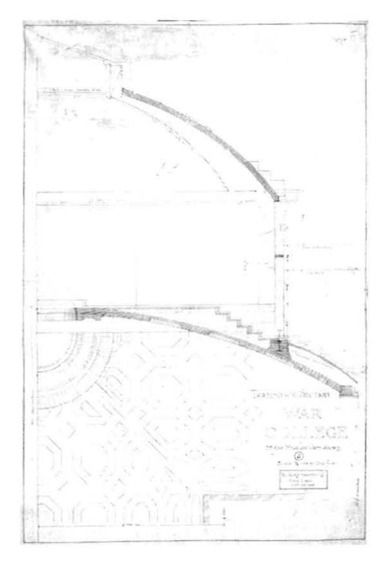
*Tribunal del distrito de Bronx, Bronx, Nueva York, 1908 (Michael J. Gavin). AVL



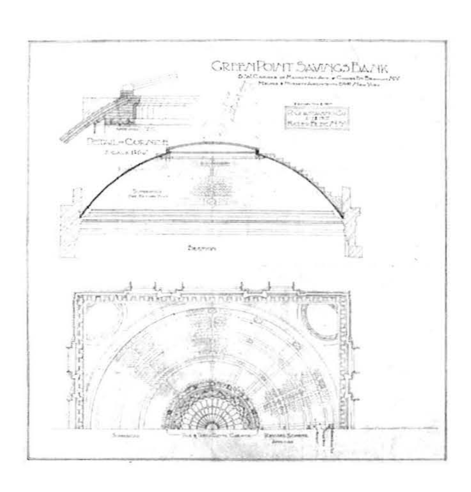
*Edificio bancario Green Point Savings, Brooklyn, Nueva York, 1907 (Helmle & Huberty). Sección por la cúpula, doble y con un óculo. AVL



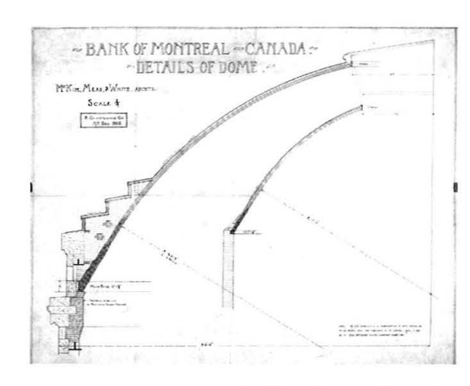
*Iglesia de St. Barbara, Brooklyn, Nueva York, 1907-1910 (Helmle & Huberty). Plantas a diferente altura y secciones de la cúpula. AVL



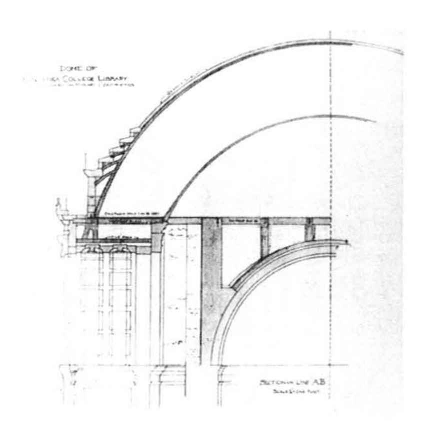
*US Army War College. Fort McNair, Washington DC, 1903-1906 (McKim, Mead & White). Sección transversal. AVL [Lámina 30]



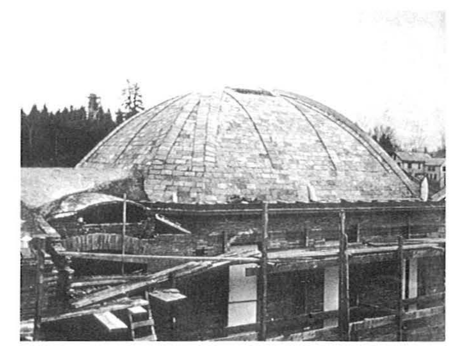
*Edificio bancario Green Point Savings. Planta y sección de la cáscara interior de la cúpula, con detalles del aparejo. AVL



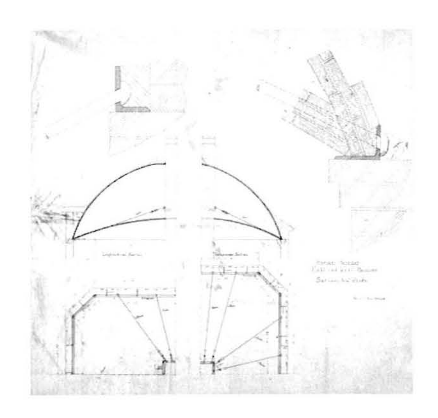
*Banco de Montreal, Hamilton, Ontario, Canada, 1903-1904 (McKim, Mead & White). Sección de la cúpula, de doble cáscara. AVL



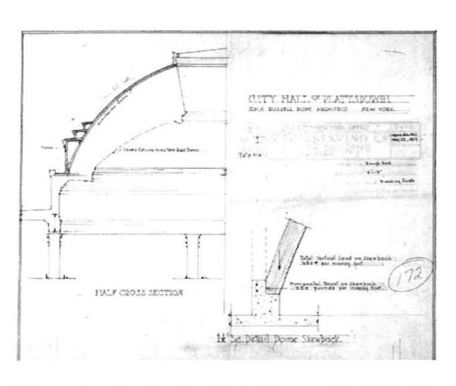
*Low Library, Universidad de Columbia, Manhattan, Nueva York, 1896 (McKim, Mead & White). Sección por la cúpula, de doble cáscara. AVL



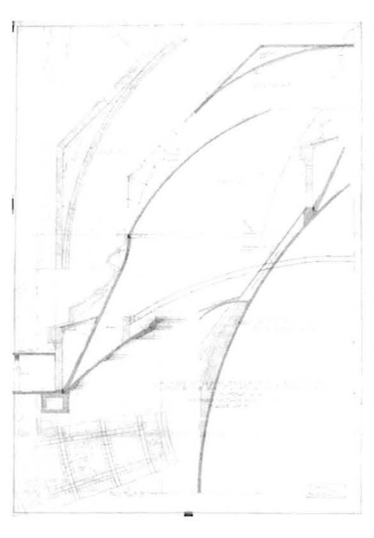
*Hospital Mary Hitchcock Memorial, Hanover, New Hampshire, 1890-1893 (Rand & Taylor). Vista de la cúpula en construcción. AVL



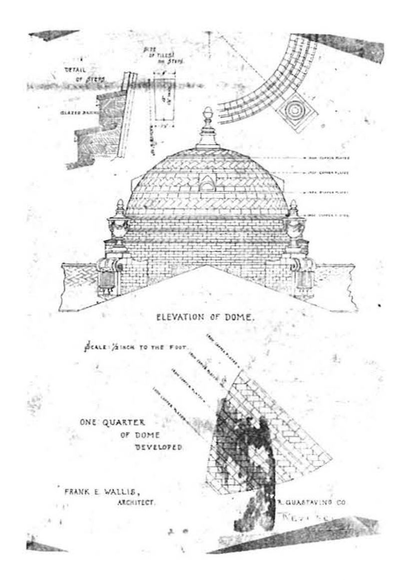
*Hospital Mary Hitchcock Memorial. Planta y secciones por los ejes principales de la cúpula. Detalles de los arranques. AVL



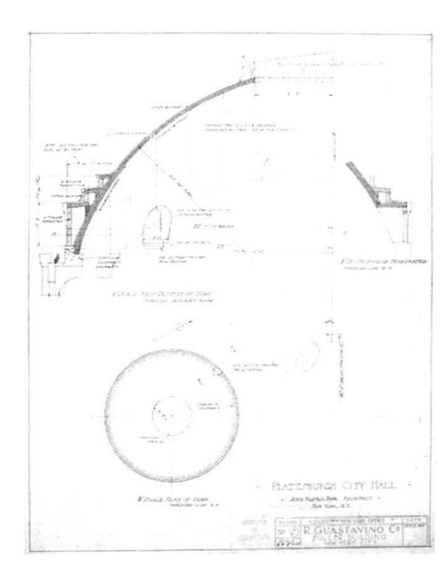
*Ayuntamiento de Plattsburg, Plattsburg, Nueva York, 1917-1918 (John Russell Pope). Sección por la cúpula y detalle del arranque. AVL



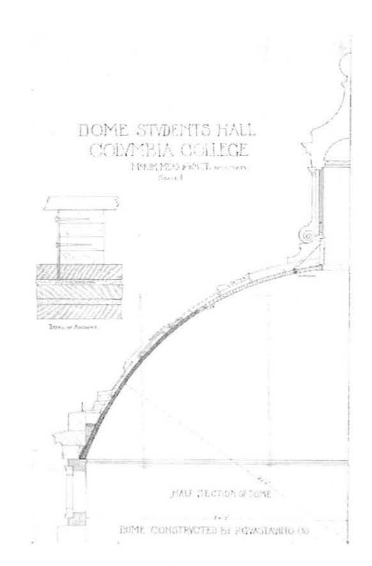
*Estación de ferrocarril de Birmingham. Detalles de la cúpula. AVL



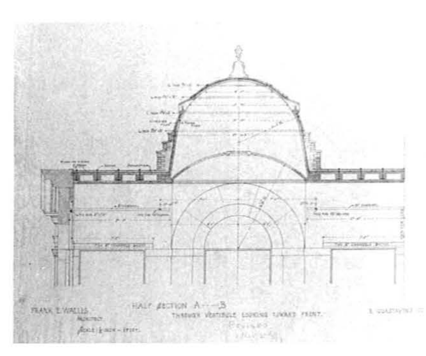
*Somerton Mausoleum, Nueva York, 1899 (Frank E. Wallis). Sección longitudinal mostrando la cúpula y las bóvedas de cañón en las naves. AVL



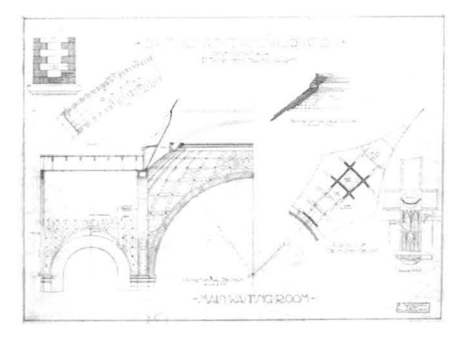
*Ayuntamiento de Plattsburg. Planta y sección de la cúpula. AVL



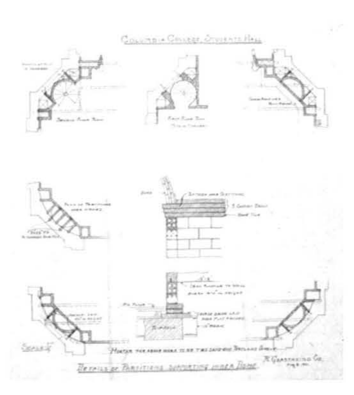
*Students Hall, Universidad de Columbia, Manhattan, Nueva York, 1901 (McKim, Mead & White). Sección por la cúpula, especificando la composición de la hoja y el radio de curvatura. AVL



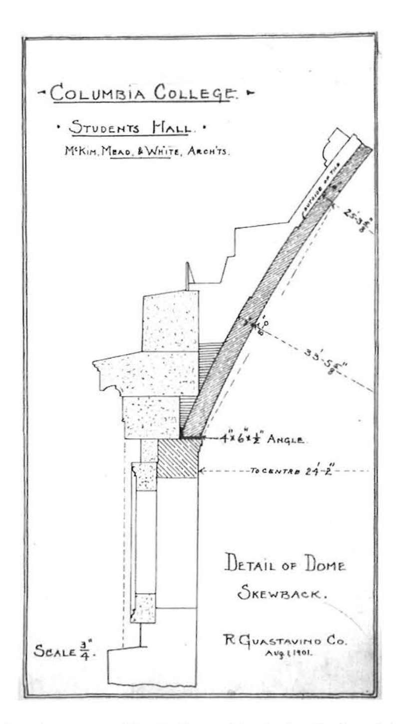
*Somerton Mausoleum. Alzado de la cúpula, detallando los aparejos a seguir. AVL



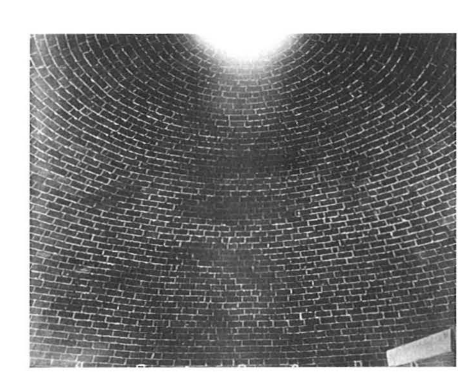
*Estación de ferrocarril de Birmingham, Birmingham, Alabama, 1907-1908 (P. Thornton Marye). Sección de la hoja interior de la cúpula y planta de una pechina con detalles del aparejo. AVL



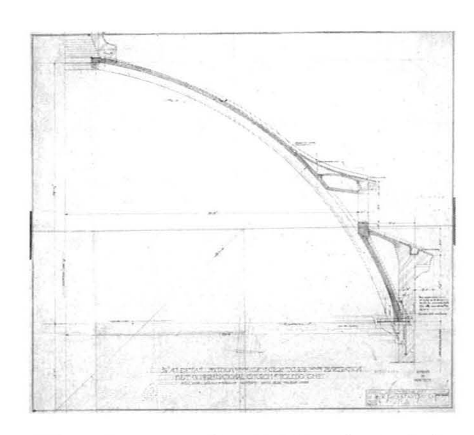
*Students Hall, Universidad de Columbia. Escaleras de caracol situadas en las esquinas. AVL



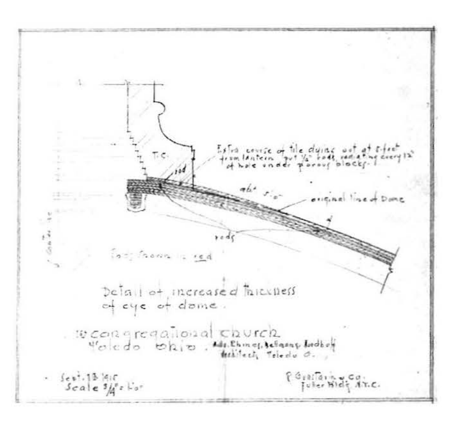
*Students Hall, Universidad de Columbia. Detalles del arranque de la cúpula. AVL



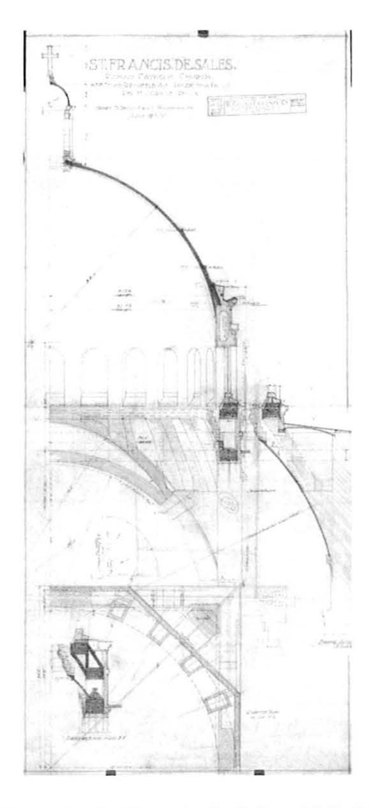
*Students Hall, Universidad de Columbia. Intradós de la cúpula. AVL



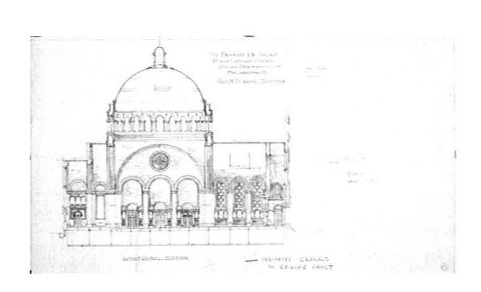
*First Congregational Church, Toledo, Ohio, 1914-1915, (Mills, Rhines, Bellman & Nordhoff). Sección por la cúpula. AVL



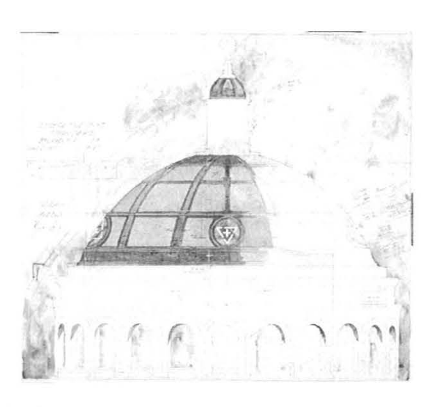
*First Congregational Church. Detalle del borde de la cúpula en el encuentro con el óculo. AVL



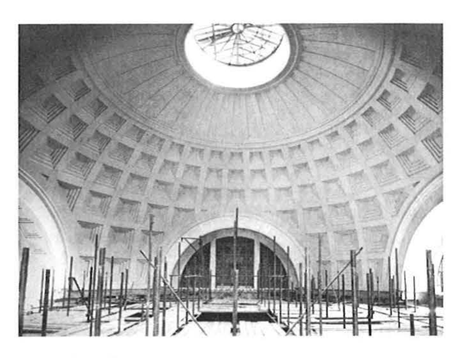
*Iglesia de St. Francis de Sales, Philadelphia, Pennsylvania, 1908 (Henry D. Dagit). Planta y sección por la cúpula. AVL



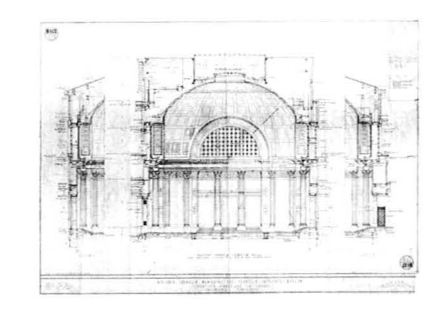
*Iglesia de St. Francis de Sales. Sección longitudinal. AVL



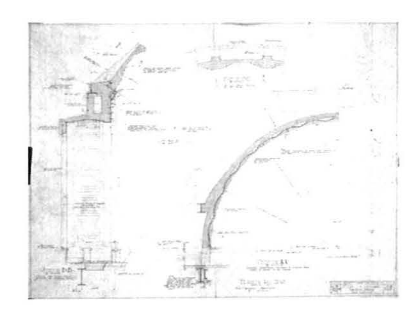
*Iglesia de St. Francis de Sales. Dibujo en color, alzado de la cúpula. AVL



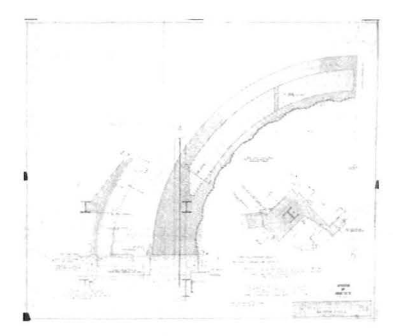
*Benjamin Franklin Memorial, Philadelphia, Pennsylvania, 1933-1934 (John T. Windrim). Dibujo, vista interior de la cúpula. AVL



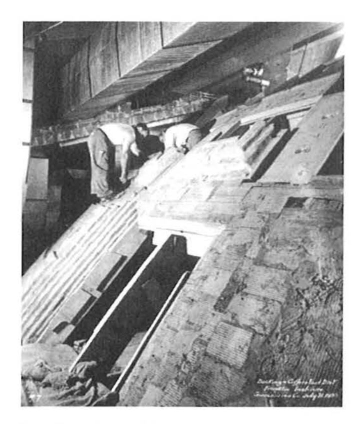
*Benjamin Franklin Memorial. Sección transversal. AVL



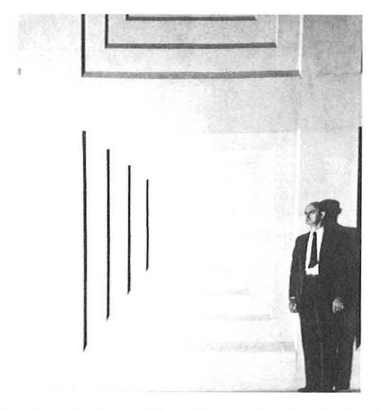
*Benjamin Franklin Memorial. Sección por la cúpula y detalles del arranque. AVL



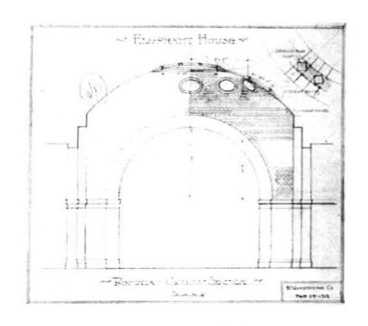
*Benjamin Franklin Memorial. Detalles de la composición de la cúpula. AVL



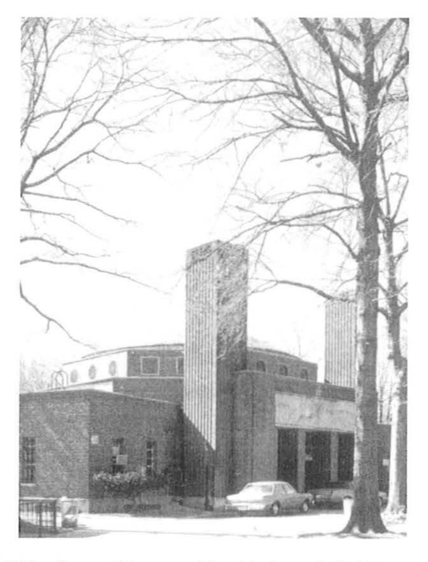
*Benjamin Franklin Memorial. Cúpula en construcción. AVL



*Benjamin Franklin Memorial. Detalle del intradós de la cúpula. AVL



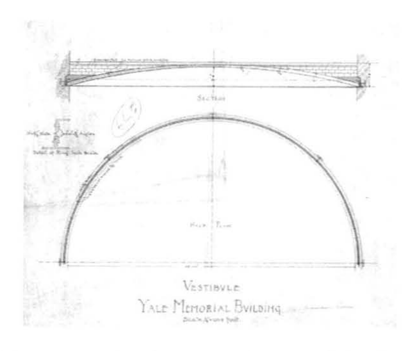
*Elephant House, Zoológico del Bronx Sección por la cúpula, con detalles del aparejo. AVL



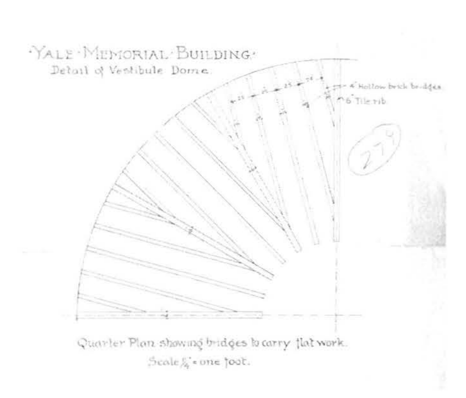
*Elephant House, Zoológico del Bronx, Bronx, Nueva York, 1906-1908 (Heins & Lafarge). Vista exterior, estado actual. AVL



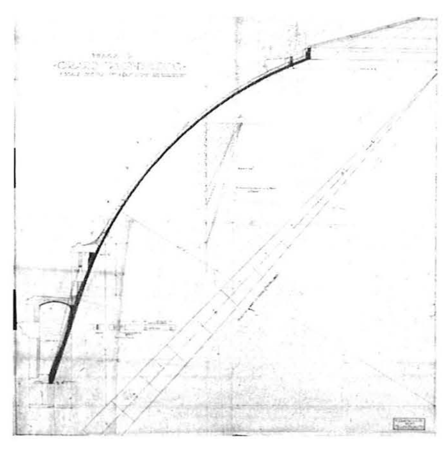
*Elephant House, Zoológico del Bronx. Vista interior, estado actual. AVL



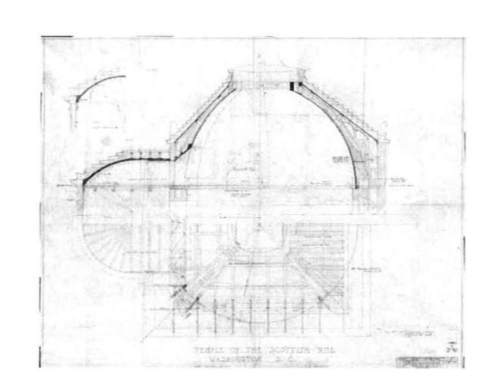
*Memorial Vestibule, Universidad de Yale, New Haven, Connecticut, ca. 1900, (Autor desconocido). Planta y sección por la cúpula, muy rebajada. AVL



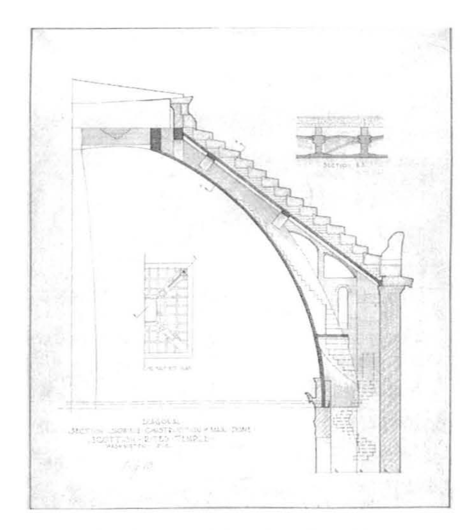
*Memorial Vestibule. Detalle de las costillas que refuerzan el trasdós de la cúpula, a la vez que sirven como apoyo del pavimento superior. AVL



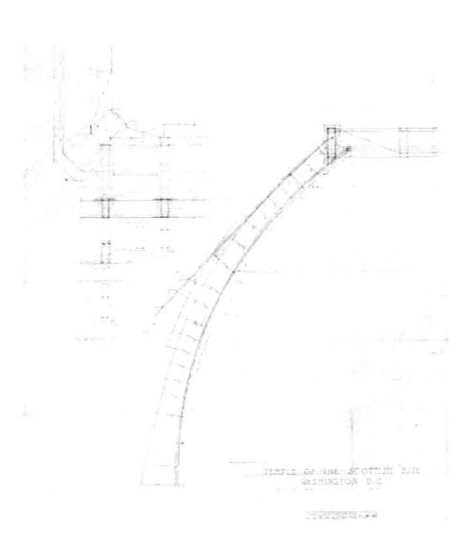
*Girard Trust Company, Philadelphia, Pennsylvania, 1905-1907 (Allen Evans & McKim, Mead & White). Sección por la cúpula, cálculo de los pesos y radios de curvatura. AVL



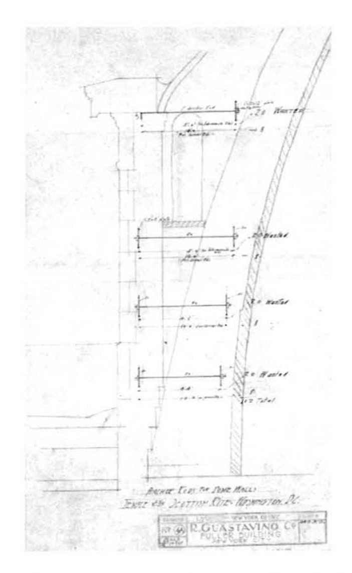
*Templo de Scottish Rite, Washington, Washington DC, 1912 (John Russell Pope). Sección longitudinal. AVL



*Templo de Scottish Rite. Sección por la cúpula. AVL



*Templo de Scottish Rite. Detalle de los arranques. AVL

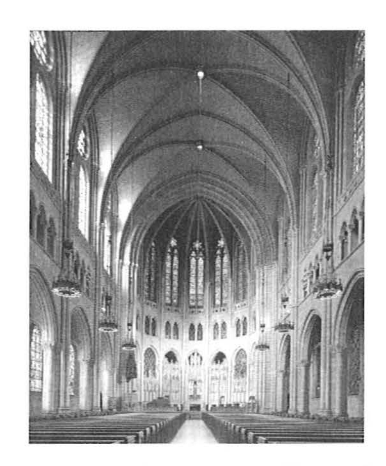


*Templo de Scottish Rite. Nervios de la cúpula y zuncho en el encuentro con el óculo. AVL

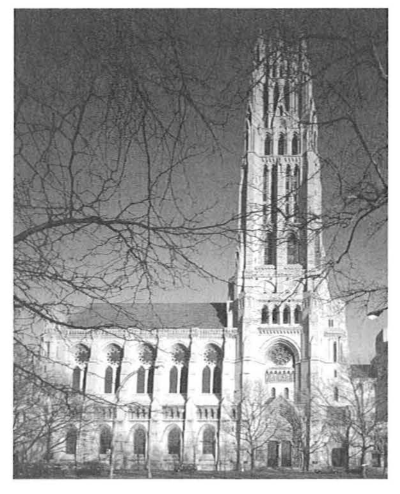
Bóvedas neogóticas

Buena parte de la trayectoria de la Guastavino Co. tiene lugar cuando en EEUU —tras el triunfo de la estética historicista de la Exposición de Chicago (1893) y contrariamente a lo que ya se estaba agotando en Europa— proliferan las arquitecturas que miran a estilos pretéritos; particularmente, en lo que a edificios religiosos toca, el neogótico.

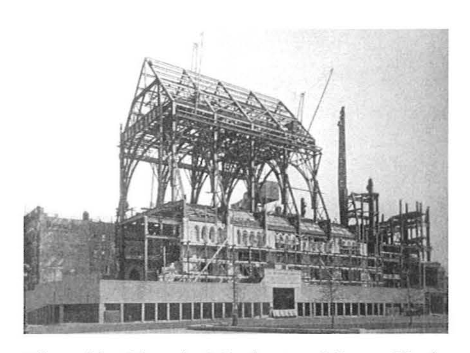
El sistema de Guastavino fue hábil para hacerse con un perfecto dominio de los elementos de este sistema abovedado. La bóveda de crucería —con su característica versatilidad a la hora de conjugar las distintas piezas que la constituyen— independiza el armazón estructural de nervios de las superficies de plementería; para unos y otros elementos encontró Guastavino procedimientos y materiales que conjugaban la sencillez constructiva con expresivos resultados plásticos. La Guastavino Co. no dudó en aportar a la bóveda de crucería todo tipo de investigaciones: desde la construcción de una estructura metálica —verdadero esqueleto de hierro— que sería posteriormente recubierta, hasta la fabricación de piezas cerámicas irregulares como trasunto de los mampuestos de las antiguas plementerías; particular interés para estas bóvedas tendría la invención y desarrollo por parte de la compañía de las piezas Rumford Tile y Akoustolith, que mejoraban sustancialmente las difíciles condiciones acústicas de este clase de edificios.



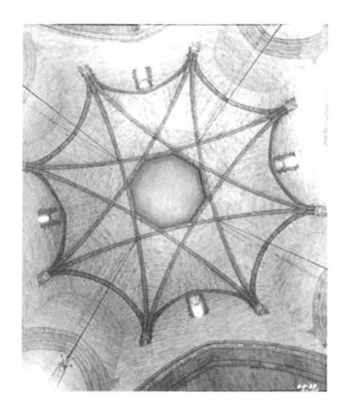
Riverside Church. Manhattan, Nueva York, 1927-1929 (Pelton, Allen & Collens). Vista del interior, estado actual. AVL



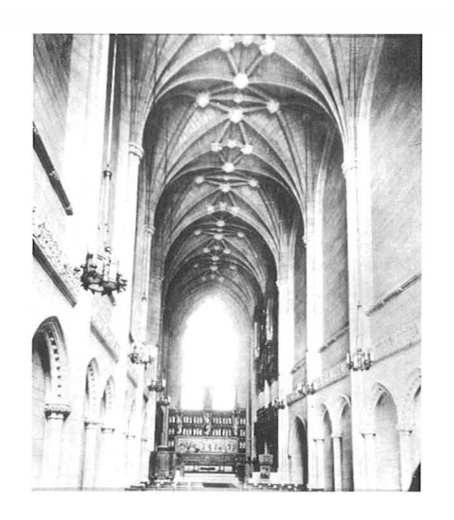
Riverside Church. Vista del exterior. AVL



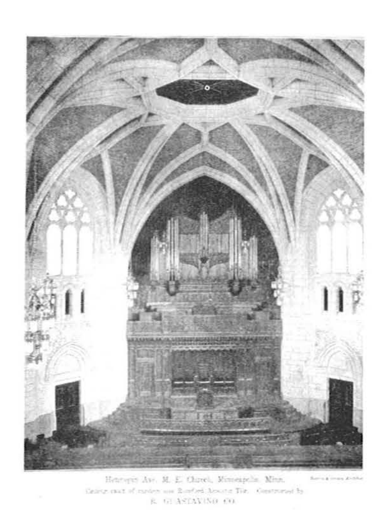
Riverside Church, Manhattan, Nueva York, 1927-1929 (Pelton, Allen & Collens). Estructura metálica oculta bajo muros y bóvedas. AVL



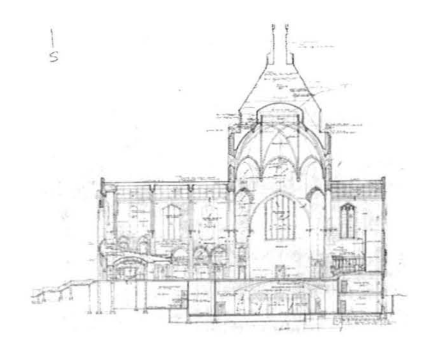
Iglesia en Epworth Euclid Ave.. Cleveland, Ohio, 1925-1928 (Bertram G. Goodhue &Ass.). Bóveda de arcos cruzados, vista del intrados. AVL



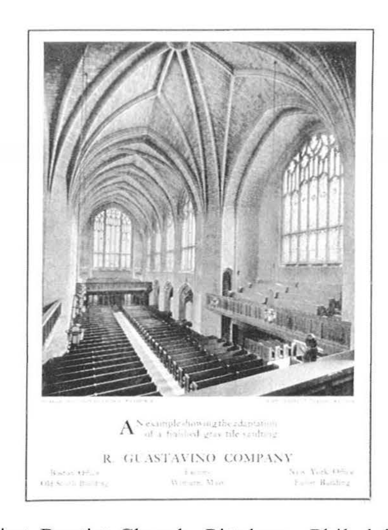
Capilla del Leslie Lindsey Memorial. Boston, Massachussets, 1922 (Allen & Collens). AVL



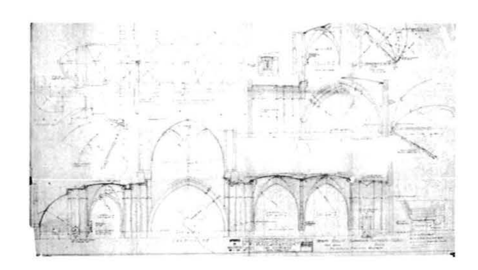
Iglesia en Hennepin Ave. Vista del interior. AVL



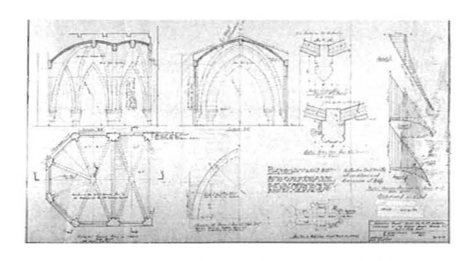
Iglesia en Epworth Euclid Ave. Cleveland. Sección longitudinal. AVL



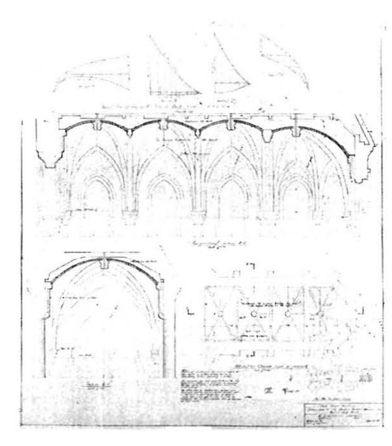
First Baptist Church, Pittsburg, Philadelphia, 1910-1911 (Cram, Goodhue & Ferguson).



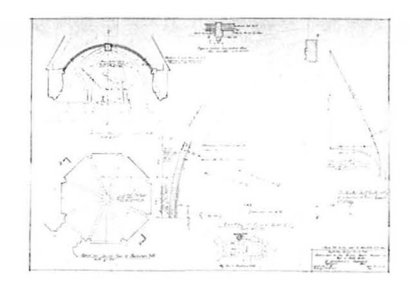
Trinity English Lutheran Church, Fort Wayne, Indiana, 1924-1925 (Bertram G. Goodhue &Ass.). AVL



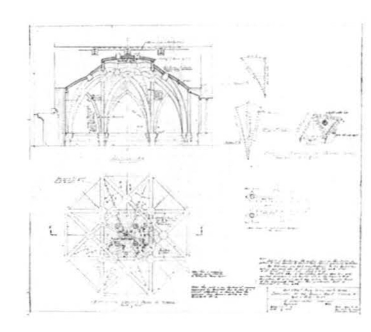
Sacred Heart Cathedral, Newark, Nueva Jersey, 1924-1926 (I. E. Ditmars). Planta y sección de las bóvedas, detalles de los nervios y despiece de la plementería. AVL



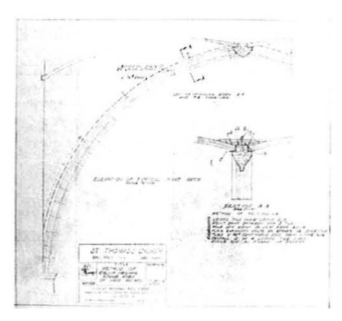
*Sacred Heart Cathedral. Planta y secciones generales, detalles de la plementería. AVL [Lámina 31]



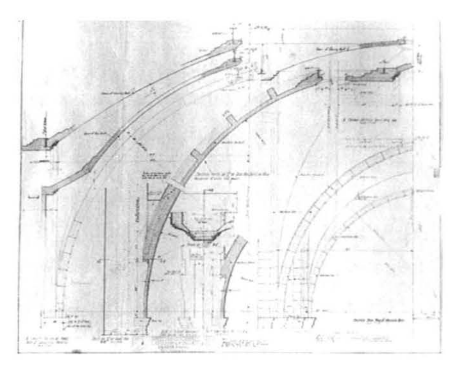
*Sacred Heart Cathedral. Planta y sección de la bóveda de una capilla lateral. AVL



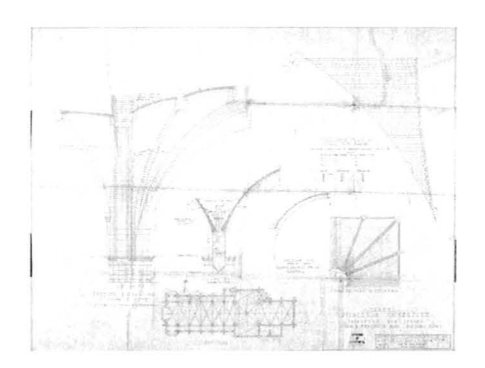
*Sacred Heart Cathedral. Planta y sección de la bóveda de las capillas bajo las torres, de arcos cruzados. AVL



*Iglesia de St. Thomas, Manhattan, Nueva York, 1911-1928 (Cram, Goodhue & Ferguson). Sección de una bóveda y detalle del encuentro de la plementería con un nervio. AVL



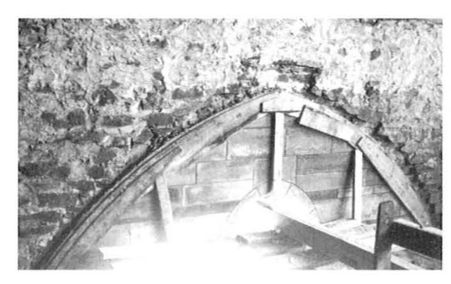
*Capilla en el Rosemont College, Rosemont, Pennsylvania, 1939-1941 (Henry D. Dagit & Sons). Secciones de las bóvedas. AVL



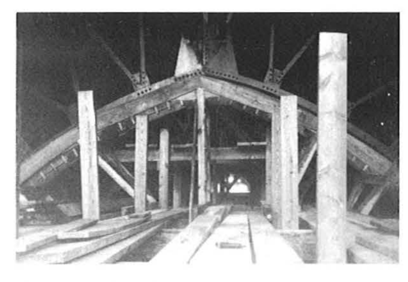
*Capilla de la Universidad de Princeton, Princeton, Nueva Jersey, 1926-1928 (Cram & Ferguson). Sección constructiva de las bóvedas y detalles de la plementería. AVL



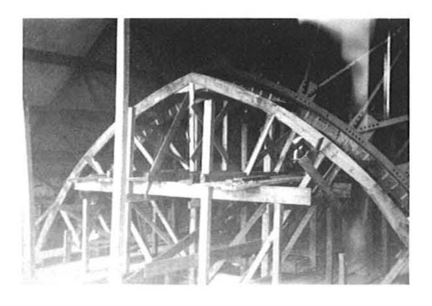
*Iglesia de St. Ann. Estructuar auxiliar y tablazón para apoyo de los ladrillos.



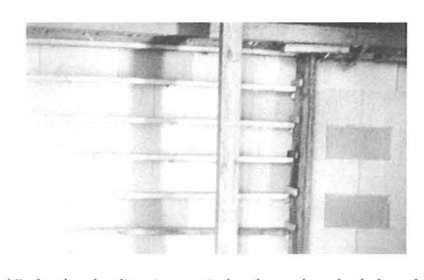
*Iglesia de St. Ann, Washington, Washington DC, 1940 (Henry D. Dagit). Estructura auxiliar de madera marcando la forma de la bóveda. AVL



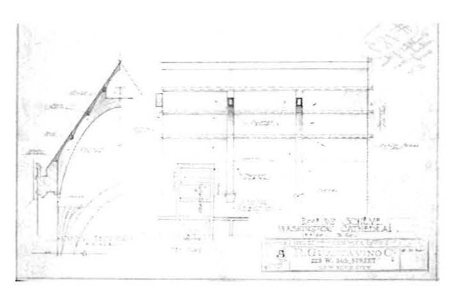
*Iglesia de St. Ann. Estructura auxiliar de madera. AVL



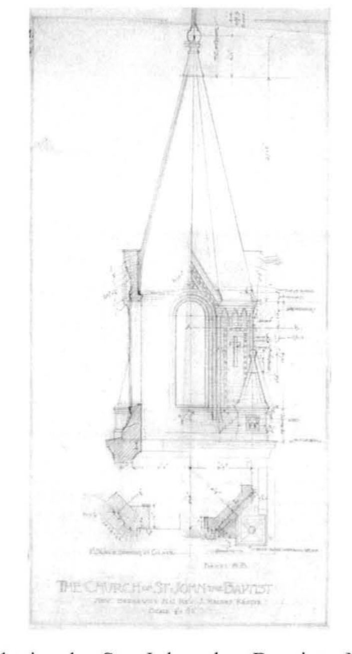
*Iglesia de St. Ann. Estructura auxiliar de madera. AVL



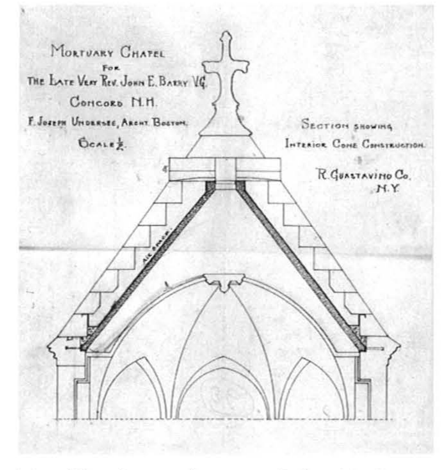
*Iglesia de St. Ann. A la derecha, la bóveda terminada, a la izquierda, la estructura auxiliar. AVL



*Washington Cathedral, Washington D.C., 1923-1956 (Frohman, Robb&Little). Secciones transversal y longitudinal de las bóvedas de la cubierta. AVL



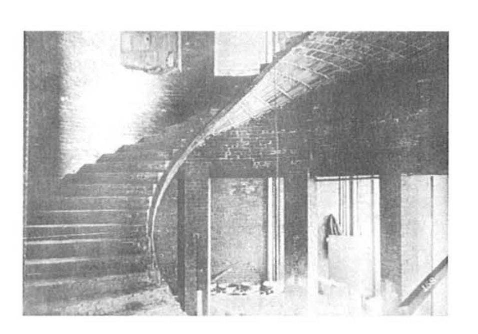
*Iglesia de St. John the Baptist, New Brunswick, Nueva Jersey, ca. 1900 (Autor desconocido). Alzado y sección de la aguja. Cáscara cónica tabicada de la torre. AVL



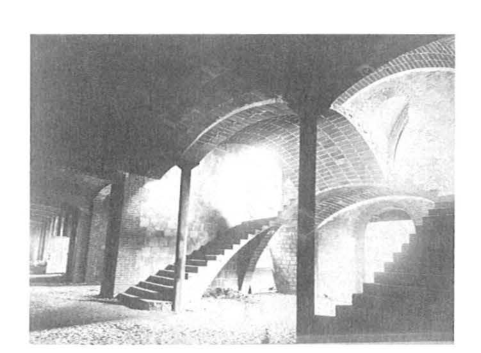
*Capilla funeraria para John E. Barry, Concord, Hew Hampshire, 1902 (F. Joseph Untersee) Cáscara cónica tabicada que soporta una gruesa cubierta de piedra. AVL

Escaleras

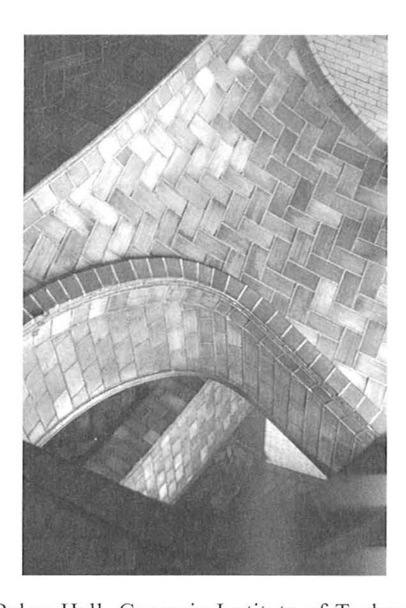
La técnica de la bóveda tabicada alcanza una de sus aplicaciones históricas más características en la construcción de escaleras. Esta técnica tan arraigada en la construcción popular catalana fue una de las primeras patentes realizadas por Guastavino a su llegada a Nueva York.La flexibilidad del sistema posibilita su adaptación a muy disímiles tipos de escaleras. Guastavino supo sacar buen partido de este elemento, adaptándolo a toda clase de plantas y trazados: desde las escaleras por tramos —«a montacaballo»— y empechinadas hasta las de expresivo trazado helicoidal. En muchas de ellas, dejando el intradós visto, consigue un espectacular efecto plástico.



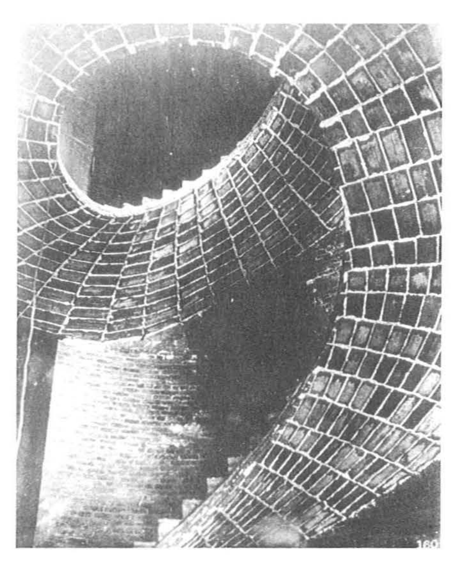
*Edificio para el Union Club. Escalera helicoidal, con un hilo central para replantear la forma. AVL



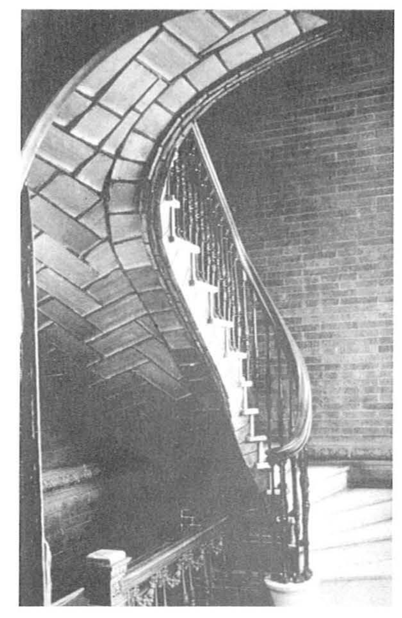
Seminario St. Joseph, Yonkers, Nueva York, 1892-1893 (William Schickel&Co). Escalera en construcción. AVL



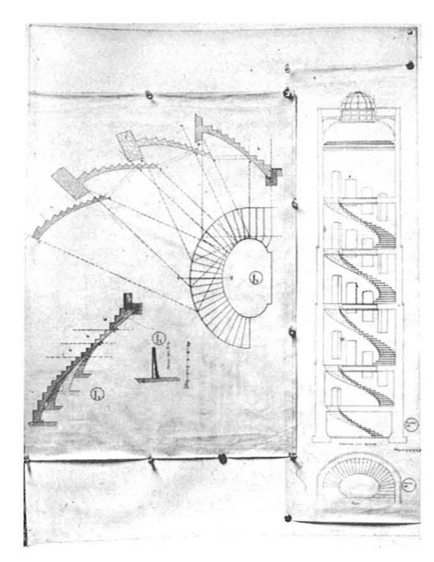
Baker Hall, Canergie Institute of Technology, Pittsburg, Philadelphia, 1913-1920 (H. Hornbostel). Detalle de la escalera empechinada JP



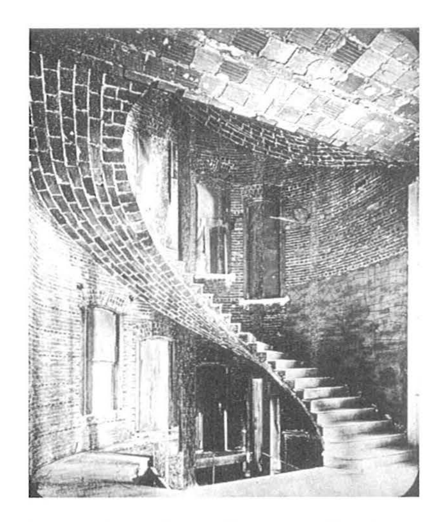
Edificio para el Union Club, Manhattan, Nueva York, 1901-1906 (De Lemos& Cordes). Escalera helicoidal en construcción. AVL



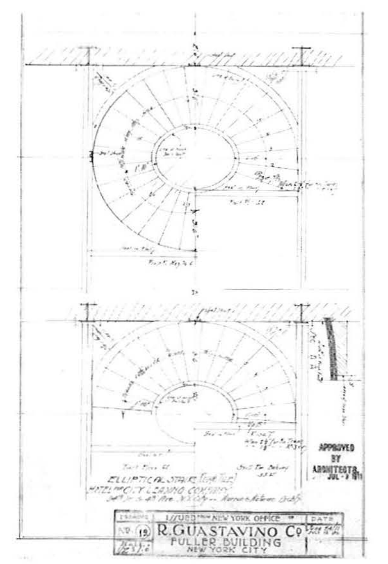
St. Paul Chapel en la Universidad de Columbia, Manhattan, Nueva York, 1905-1906 (Howell & Stokes). Intradós de la escalera con aparejo en espina de pez. AVL



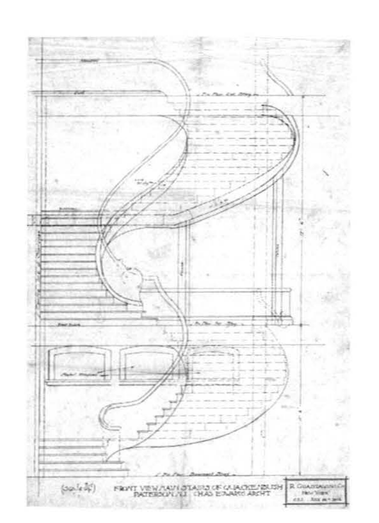
First National Bank. Paterson, Nueva Jersey, ca. 1900 (Autor desconocido). Descripción gráfica de la escalera helicoidal. AVL



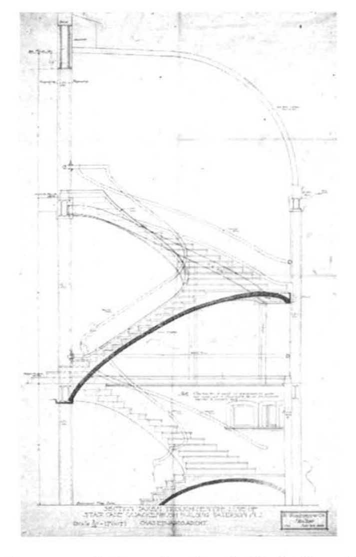
First National Bank. Paterson. Escalera en construcción. AVL



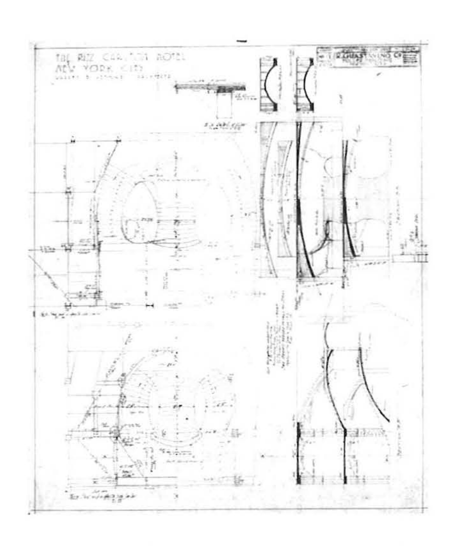
Escalera elíptica en el Hotel for Cityleasing Company. Nueva York, 1909-1911. Planta. AVL



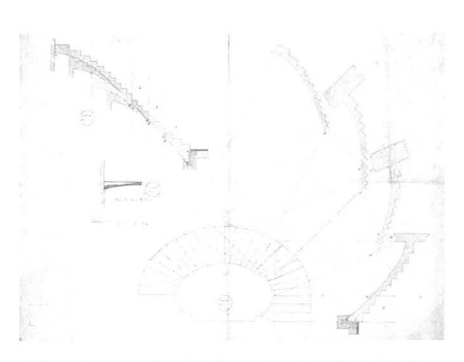
Escalera en el Quackenbush Building. Alzado. AVL [Lámina 32]



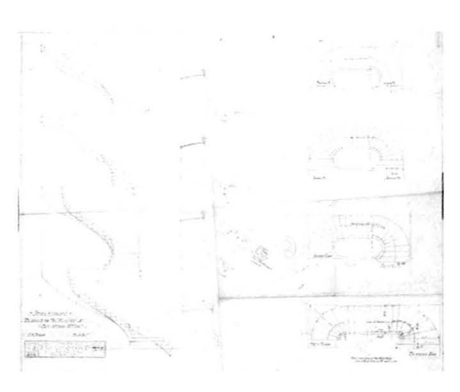
Escalera en el Quackenbush Building. Sección. AVL [Lámina 32]



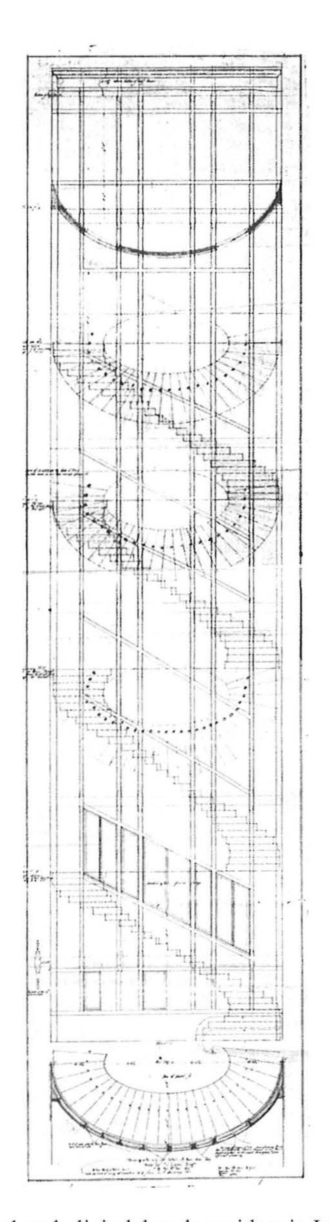
Hotel Vanderbilt, Manhattan, Nueva York, 1910-1911 (Warren & Wetmore). Descripción gráfica de la escalera imperial. AVL



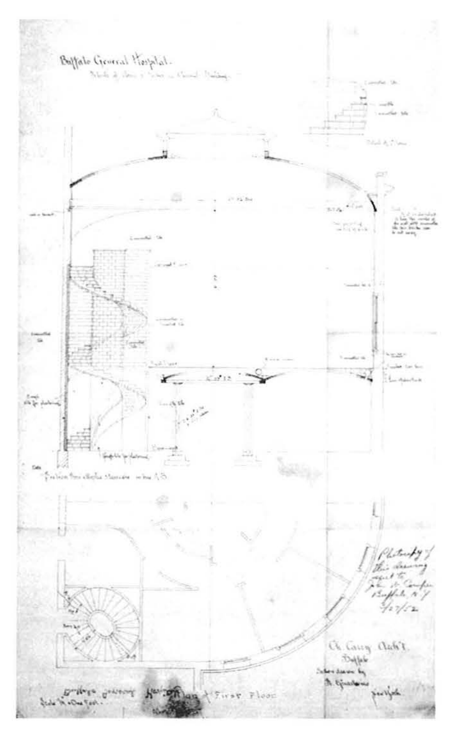
*Escalera helicoidal en la residencia Rogers, Nueva York, 1900 (Autor desconocido) AVL



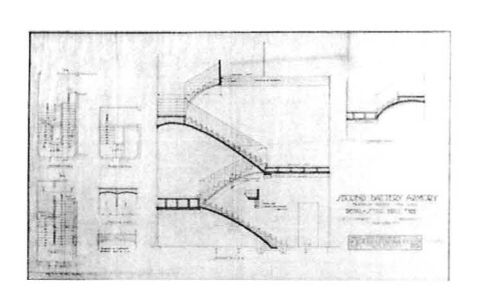
*Escalera helicodal en la residencia para Mr.Luyster Jr., Manhattan, Nueva York, 1909-191 (John H. Duncan) AVL

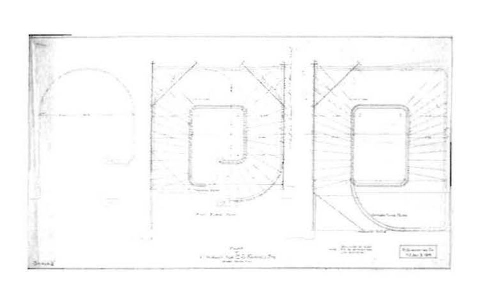


*Escalera heliciodal en la residencia Lyons, Manhattan, Nueva York, 1900 (McKim, Mead & White) AVL

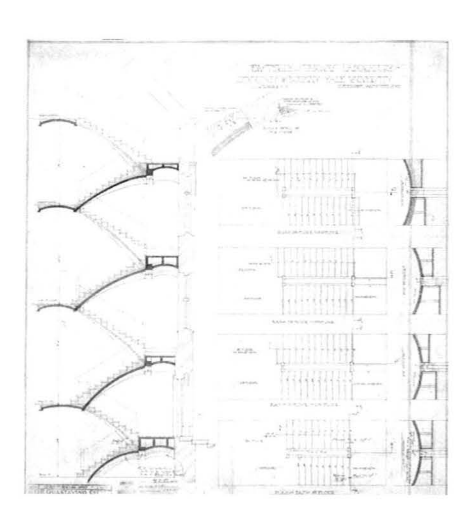


*Hospital general de Buffalo, Buffalo, Nueva York, ca.1900 (George Cary). Sección transversal mostrando la escalera y las bóvedas construidas por los Guastavino. AVL

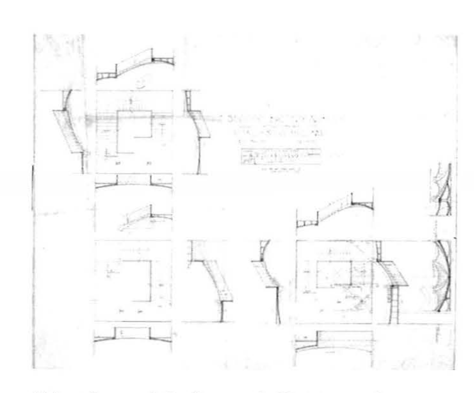




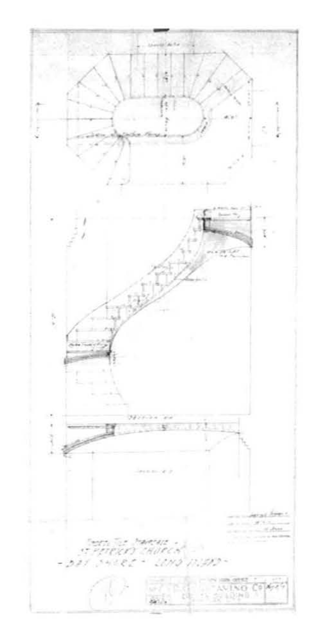
*Escalera en la Second Battery Armory. Nueva York, 1909. Plantas y secciones. En la figura de abajo plantas de otra escalera en edificio desconocido. AVL



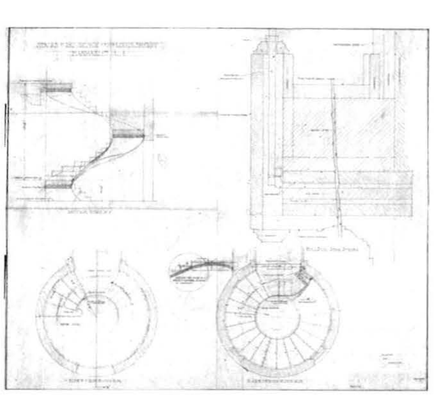
*Laboratorio de zoología, Universidad de Yale, New Haven, Connecticut, 1913 (C.C. Haight). Planta y sección por la escalera, de varios tramos rectos. AVL



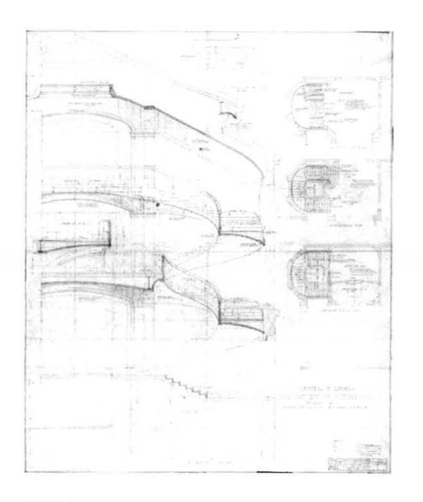
*Escalera del Second Battery Armory, Bronx, Nueva York, 1908-1909, (C.C. Haight). AVL



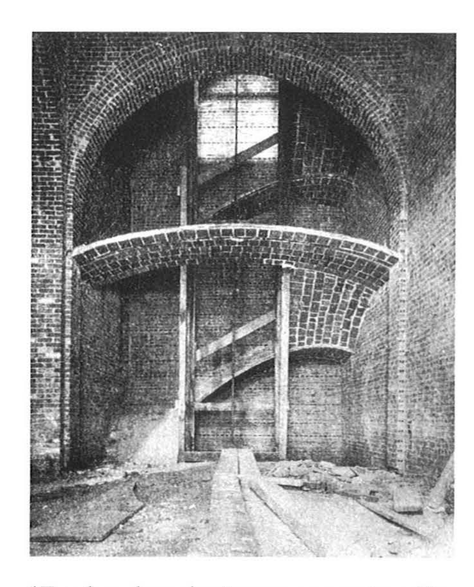
*Escalera en la iglesia de St. Patrick, Bay Shore, Nueva York, 1919 (Autor desconocido). AVL



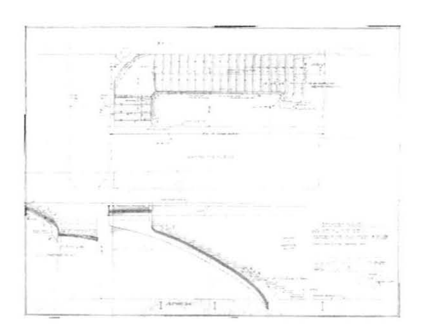
*Escalera helicoidal en la residencia Louis Sherry, Manhasset, Nueva York, 1912-1917 (Theo. Hofstatter & Co). AVL



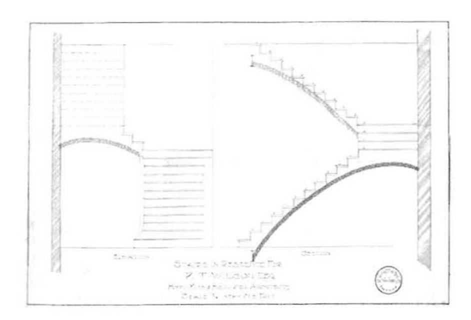
*Edificio central del Carnegie Institute Of Technology, Pittsburgh, Pennsylvania, 1913-1914 (H. Hornbostel). Planta y sección de escaleras y bóvedas de piso. AVL



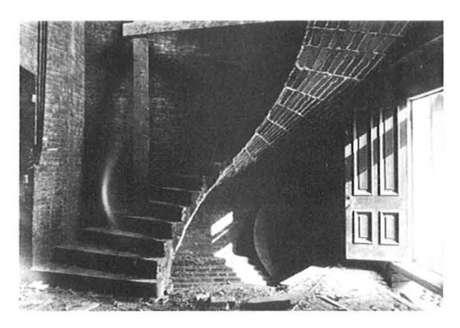
*Escalera de varios tramos en construcción. Edificio desconocido. AVL



*Escalera en Redmond Houses, Manhattan, Nueva York, 1913 (McKim, Mead & White). AVL



*Escalera en la residencia Wilson, Manhattan, Nueva York, 1902 (Koen&Huntington). AVL



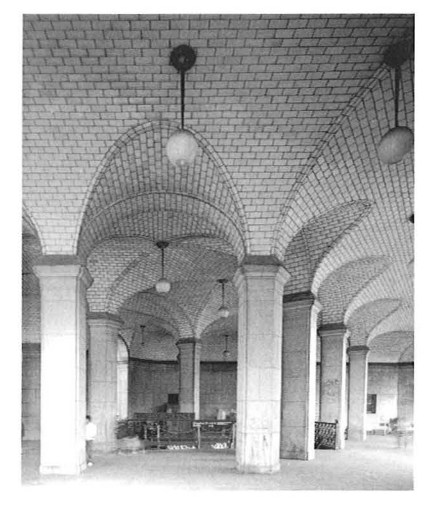
*Escalera helicoidal en la iglesia First Church of Christ Scientist, Manhattan, Nueva York, ca. 1904 (Autor desconocido). AVL

Bóvedas varias

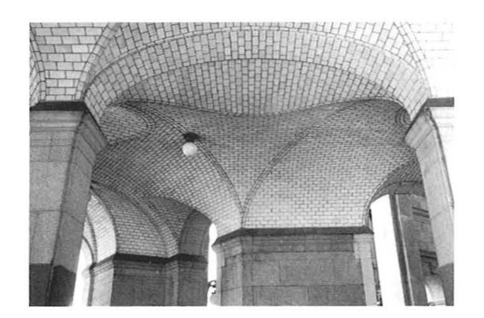
La inventiva de Guastavino, unida a la gran versatilidad del sistema, posibilitó complejas sintaxis de bóvedas tabicadas entre sí y de éstas con otros sistemas estructurales; originó, en colaboración con elementos metálicos, inopinadas e innovadoras estructuras mixtas, de muy atractivo resultado formal. Las posibilidades expresivas del sistema de Guastavino, registradas en la significativa dispersión tipológica de espacios a cubrir, se reflejan también en su especial adecuación a muy varías formas; posibilidades que no dejaron de aprovecharse para investigar nuevos lenguajes arquitectónicos, que poco tenían ya que ver con el empleado históricamente en los sistemas abovedados (tal es el caso, por ejemplo, de los lobbies de estilo dèco en importantes rascacielos neoyorquinos). Las bóvedas de Guastavino se adaptaban con facilidad a los requerimientos de los arquitectos y, a la vez, ofrecían una copiosa fuente de recursos formales y espaciales; posibilitaban una creativa relación con la personalidad de cada arquitecto. Si con firmas como McKim, Mead and White exploraría la compañía, durante largos años de colaboración, muy distintas organizaciones espaciales y estructurales, con autores como Henry Hornbostel alcanzaría un máximo sentido innovador en la generación y articulación de superficies y con equipos como Cram, Goodhue and Ferguson, particularmente interesado en las condiciones de revestimiento de las bóvedas, demostraría la capacidad plástica y acústica de los distintos materiales que ofertaba el sistema.



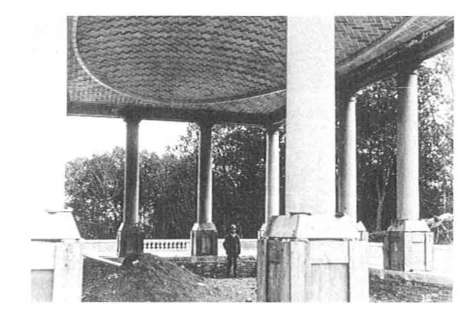
Municipal Building. Manhattan, Nueva York, 1908-1910 (McKim, Mead & White). Vista del exterior. ST



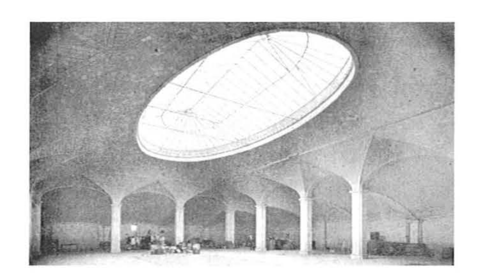
Municipal Building. Manhattan. Espacio abovedado, abierto, de planta baja. ST



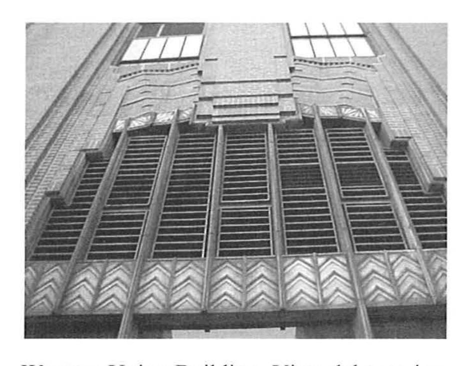
Municipal Building. Manhattan. Detalle de la intersección de las diversas bóvedas. GL



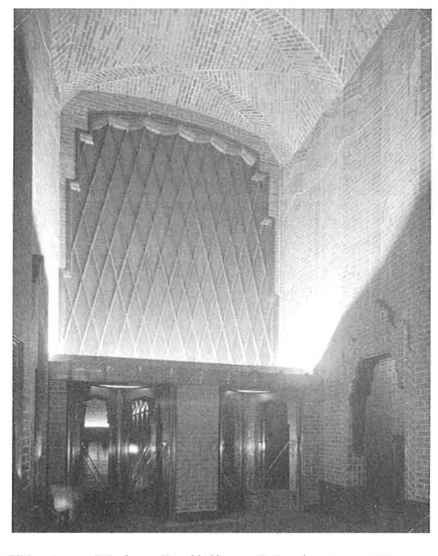
Casa para Clarence Mackay. Roslyn, Nueva York, 1903-1905 (McKim, Mead & White). Vista de la bóveda sobre columnas. AVL



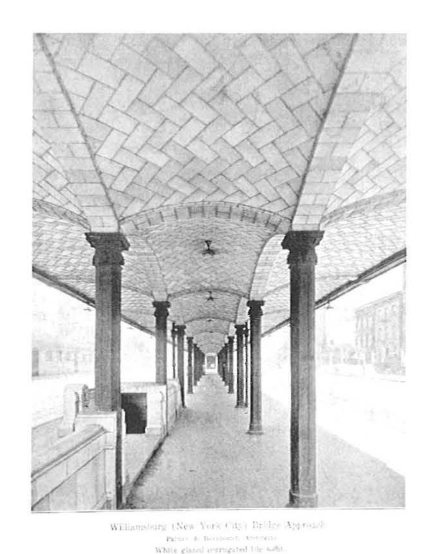
Tiffany Building. Manhattan, Nueva York, 1903-1906 (McKim, Mead & White). Cubierta de la última planta, con apertura de lucernario. AVL



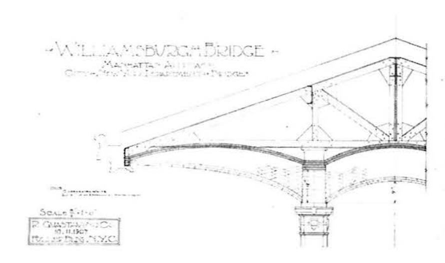
Western Union Building. Vista del exterior. AVL



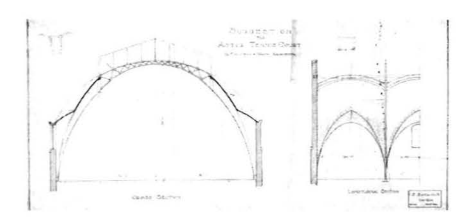
Western Union Building. Manhattan, Nueva York, 1929 (Voorhees, Gmelin & Walker). Bóveda del lobby del rascacielos. AVL



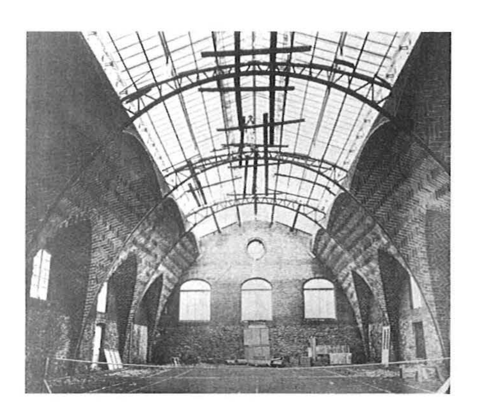
Puente de Williamsburg. Manhattan, Nueva York, 1907 (H. Hornbostel). Intradós de las bóvedas. AVL



Puente de Williamsburg. Sección constructiva. AVL



Ferncliff, Astor Estate. Rhinebeck, Nueva York, 1904 (Eastern Bridge & Structural Company). Secciones transversal y longitudinal de las bóvedas, apoyadas sobre una estructura metálica. AVL



Ferncliff, Astor Estate. Interior durante la construcción. AVL

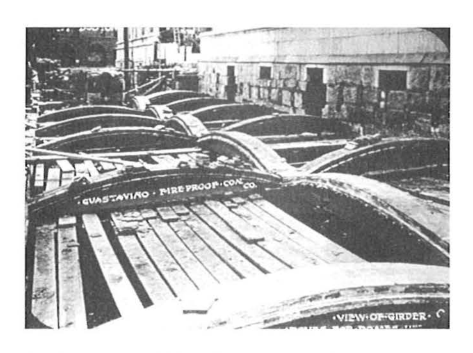
La Biblioteca Pública de Boston

Con su primera gran obra, la Biblioteca Pública de Boston (1889), Guastavino tuvo la oportunidad de poner a prueba las ventajas que su sistema de bóvedas tabicadas ofrecía respecto de otros procedimientos al uso, así como desvelar unas novedosas y atractivas posibilidades formales (muy acordes, por lo demás, con las líneas estéticas del momento).

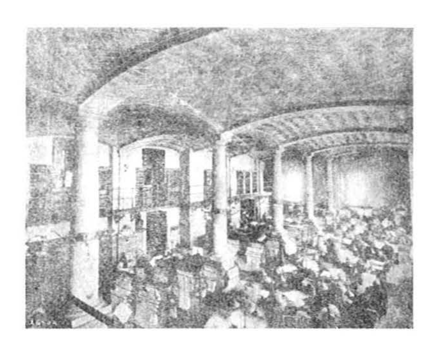
Con esta obra, realizada en colaboración con la prestigiosa firma de arquitectos McKim, Mead and White, obtuvo amplia resonancia y publicidad, siendo decisiva para su definitiva orientación profesional. La imagen de la gran sala de lectura, con la característica serie de bóvedas vaídas apoyadas en cuatro arcos de cabeza y aparejadas en espina de pez, dio a conocer el Guastavino System en todo el país. El intradós de las bóvedas, pensado inicialmente para ser revestido, se dejó visto a petición de los arquitectos; Guastavino, que había comenzado publicitando su «construcción cohesiva» como un sistema ventajoso desde un punto de vista constructivo y estructural, mejora su procedimiento con atractivos acabados interiores que, sin dejar de formar parte de la estructura, dotan a sus edificios de una sinceridad constructiva de la que carecían la mayoría de edificios erigidos siguiendo el eclecticismo imperante. Las publicaciones técnicas del momento reseñaron su sorpresa por el nuevo procedimiento que permitía levantar bóvedas en el vacío; a raíz del éxito de esta obra fue invitado en 1889 a impartir unas conferencias en la Society of Arts del Massachusetts Institute of Technology (que más tarde serían recogidas en su Essay on the Theory and History of Cohesive Construction).



Biblioteca pública de Boston. Boston, Massachussets, 1889-1890 (McKim, Mead & White). Vista exterior del edificio. Cuatro fases del proceso constructivo de las bóvedas. AVL



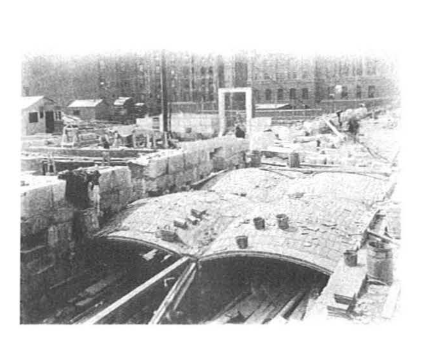
Biblioteca pública de Boston. Construcción de los arcos de cabeza.



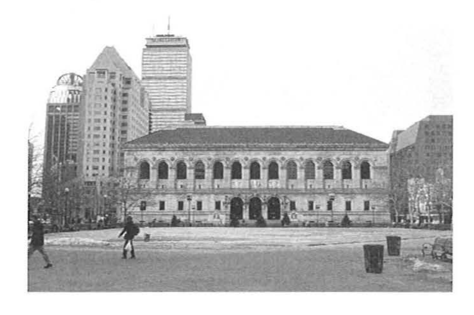
Biblioteca pública de Boston. Vista del intradós acabado.



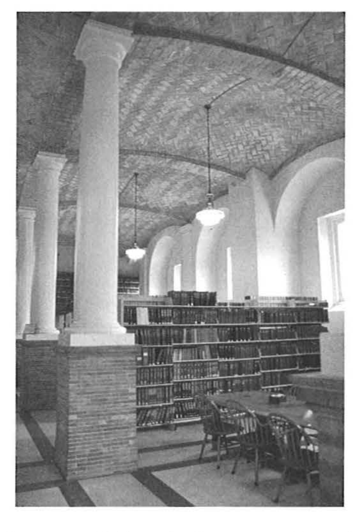
Biblioteca pública de Boston. Disposición del entramado metálico para el atirantado de las bóvedas.



Biblioteca pública de Boston. Tendido de las hojas de ladrillo sobre los arcos. [Lámina 3]



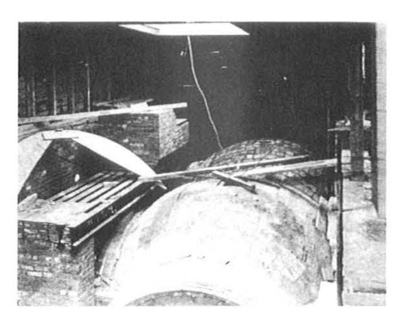
Biblioteca pública de Boston. Vista del exterior, estado actual. LS



Biblioteca pública de Boston. Vista de la sala principal, estado actual. LS



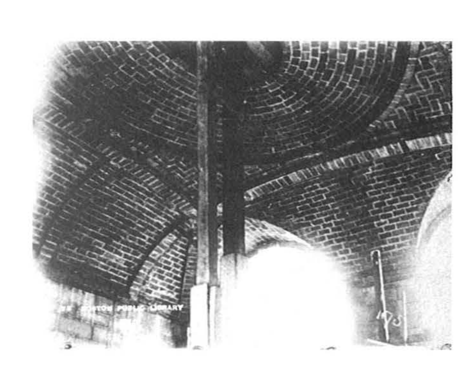
*Biblioteca pública de Boston. Planta y secciones de la bóveda de la entrada. AVL [Lámina 35]



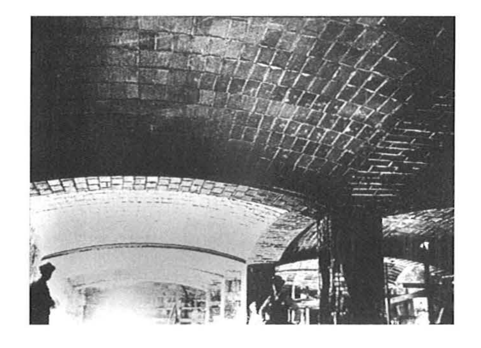
*Biblioteca pública de Boston. Bóvedas en construcción. A la izquierda de la fotografía, la cimbra utilizada para darles forma. AVL



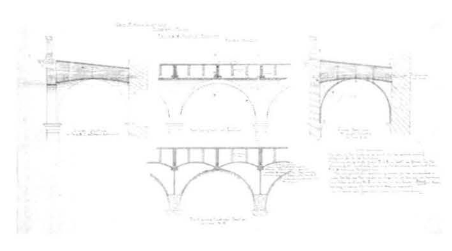
Biblioteca pública de Boston. Detalles de acabados del intrados. LS



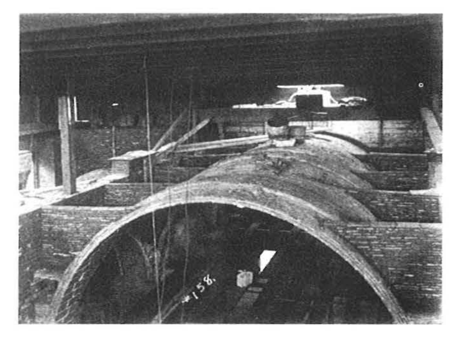
*Biblioteca pública de Boston. Intrados, en construcción, de las bóvedas de la entrada. AVL [Lámina 35]



*Biblioteca pública de Boston. Intrados de las bóvedas al acabar su construcción. AVL



*Biblioteca pública de Boston. Secciones de las bóvedas de un lateral. AVL [Lámina 36]



*Biblioteca pública de Boston. Construcción de una bóveda de cañon, con costillas laterales de refuerzo. [Lámina 36]

La capilla de St. Paul en la Universidad de Columbia

Obra de especial relevancia, y que marca la transición entre las etapas de Guastavino padre e hijo, es representativa de las posibilidades espaciales y plásticas del procedimiento.

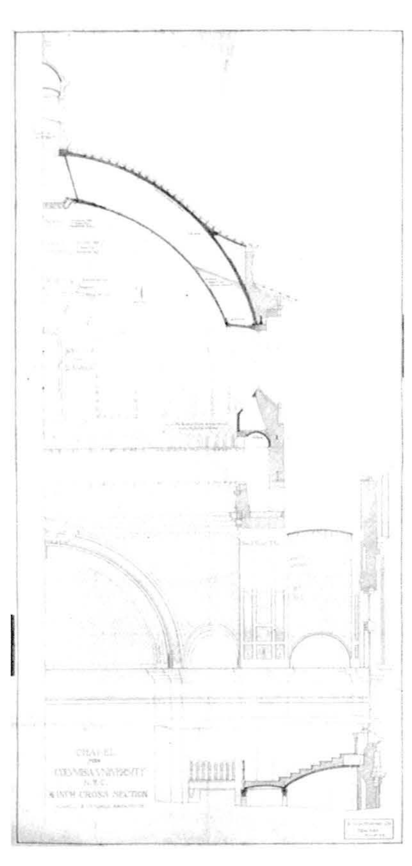
La cúpula central de la capilla, de 16 m de luz, es el perfecto ejemplo de la adecuación construcción-forma que caracterizó la obra de los Guastavino: la capa de ladrillo del intradós, compuesta por piezas de nueve colores diferentes que se iban colocando de forma aleatoria, es la única «decoración» que posee el espacio interior. Elocuente muestra de la compenetración entre la Guastavino Company y los arquitectos con que trabajó es la documentación que nos ha quedado de las obras de la St. Paul's Chapel (1904-1907), en el campus de la Universidad de Columbia; la correspondencia con los arquitectos —Howells and Stokes— demuestra «cuán intimamente trabajaron las dos firmas», abrazando todas las escalas del proyecto y participando de modo natural en la concepción arquitectónica.



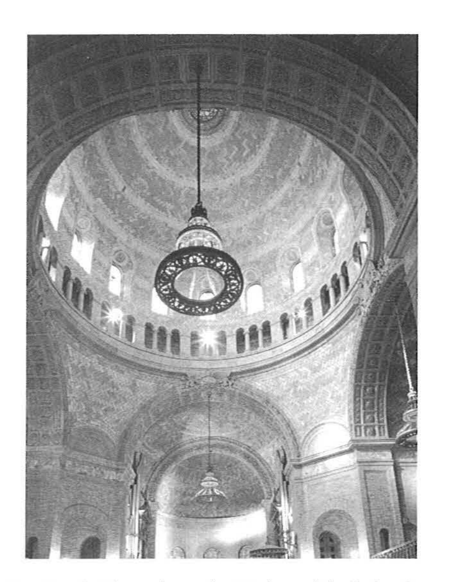
St. Paul Chapel en la Universidad de Columbia. Manhattan, Nueva York, 1905-1906 (Howell & Stokes). Vista exterior. ST



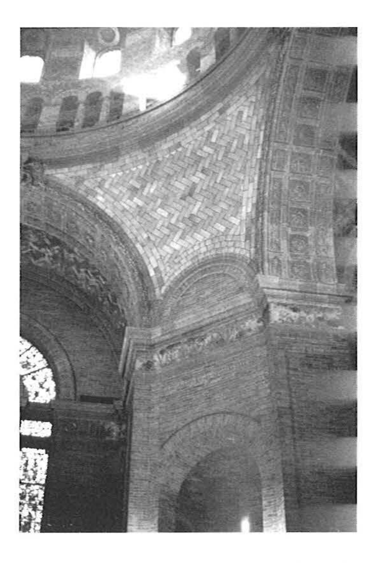
St. Paul Chapel en la Universidad de Columbia. Detalle del aparejo de la cúpula, en espina de pez. JM



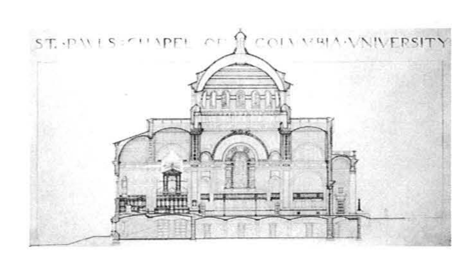
St. Paul Chapel en la Universidad de Columbia. Sección transversal. AVL



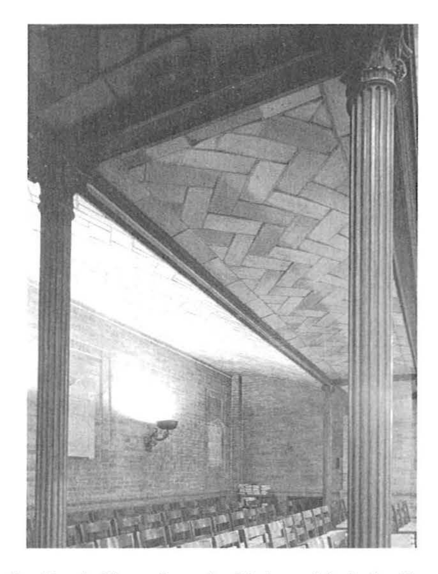
St. Paul Chapel en la Universidad de Columbia. Vista del interior, estado actual. ST



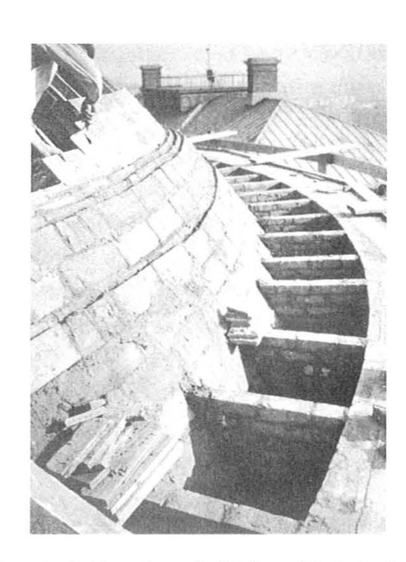
St. Paul Chapel en la Universidad de Columbia. Detalle del encuentro de la cúpula con el apoyo. DL



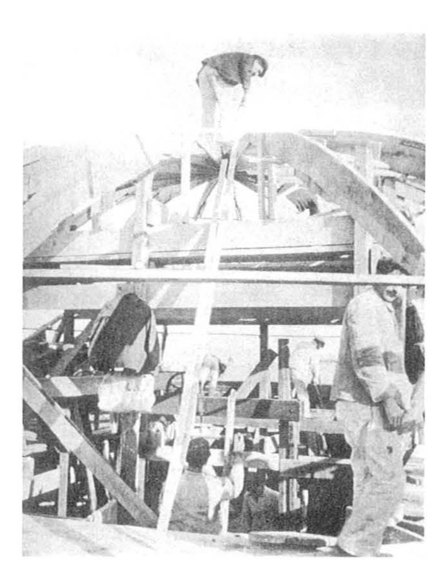
St. Paul Chapel en la Universidad de Columbia. Sección longitudinal. AVL



St. Paul Chapel en la Universidad de Columbia. Bóvedas rebajadas en los ánditos laterales. ST



St. Paul Chapel en la Universidad de Columbia. Construcción de la cúpula central, incorporando costillas de refuerzo en los arranques. AVL

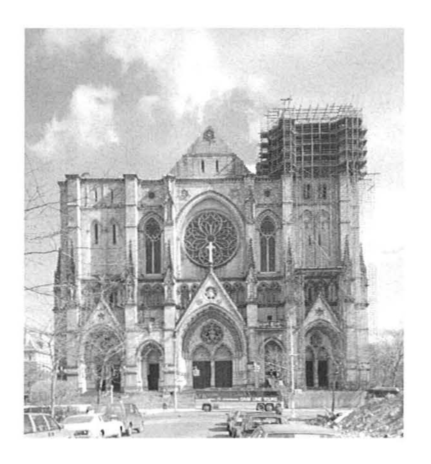


St. Paul Chapel en la Universidad de Columbia. Estructura auxiliar de madera empleada en la construcción de la cúpula. AVL

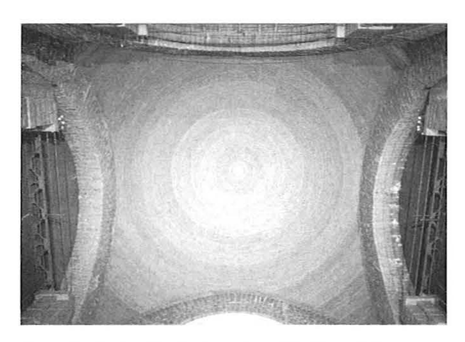
La catedral de St. John the Divine

En 1888 se convoca un concurso para la construcción de la catedral de St. John the Divine, que debía ser la mayor del mundo. Esta iglesia, erigida en el barrio de Harlem, habitado por numerosas comunidades de inmigrantes, pretendió ser «una casa de oración para todas las naciones». El concurso fue ganado por los arquitectos Heins y LaFarge, colocándose la primera piedra en 1892. La Guastavino&Co ya participó en la primera fase de la obra, encargandose de la albañilería en la cripta, el presbiterio y el ábside. Hacia 1907 surgen problemas con el terreno, de manera que no es posible construir la torre proyectada para el crucero. Esto, unido a la muerte de G. Heins, principal encargado de la obra, hizo que se confiara los Guastavino el cierre del espacio sobre el crucero, con una cúpula pensada para ser demolida poco después. En 1911 se relevó a LaFarge del proyecto, que se encargó al estudio de Adam Cram. La compañía, ya en manos de Guastavino hijo, siguió trabajando en la obra, construyendo las bóvedas de crucería sobre las naves —revestidas posteriormente con Akoustolith— que se terminaron en 1941. Todavía permanece inacabado el crucero y las dos torres de la fachada occidental. La cúpula de Guastavino, a pesar de ser una solución «provisional», sigue en pie.
La gran cúpula sobre el crucero de St. John the Divine, sobre una base cuadrada de 29.9 m de luz, es la obra de mayor envergadura acometida por la Guastavino&Co. Al ser una solución provisional se pensó en el procedimiento constructivo más sencillo y rápido para cubrir un espacio cuadrado: una bóveda vaída. Esto hace muy facil controlar la forma de la cúpula y el lugar donde debe colocarse cada ladrillo; una chapa de acero colgada de cuatro cables marcaba el centro exacto de la esfera que conforma la cúpula; a esta chapa se fijaban nuevos cables con el radio de dicha esfera que marcaban puntos de la superficie de la cúpula. El espesor varía entre nueve hojas de ladrillo en la base de las pechinas (30.5 cm) hasta tres hojas (11.5cm) en la clave. Se construyó por hiladas concéntricas, siguiendo los paralelos, de manera que cada una de ellas formaba un anillo autoportante, evitando así colocar costosas cimbras de madera. Cada día se tendían tres hiladas circulares, que ocupaban unos 50 cm, el alcance de un brazo; esto posibilitaba que los obreros trabajaran con seguridad, ya que podían apoyarse en las hiladas construidas el día anterior, que ya habían adquirido la resistencia suficiente.

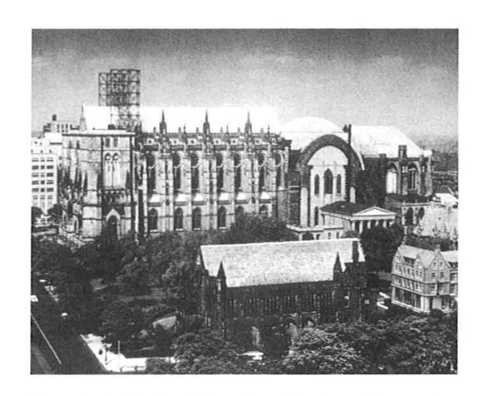
La construcción de la cúpula comienza el 1 de mayo de 1909. El 7 de junio se han terminado las pechinas, y el 16 de agosto se cierra la cúpula. Después se construyeron cuatro muros que cerraban el espacio bajo los arcos torales. Estos muros se demolieron al avanzar la contrucción de la catedral, no así la cúpula, que se mantiene en pie a pesar de la existencia de nuevos proyectos de ampliación que prevéen su demolición.



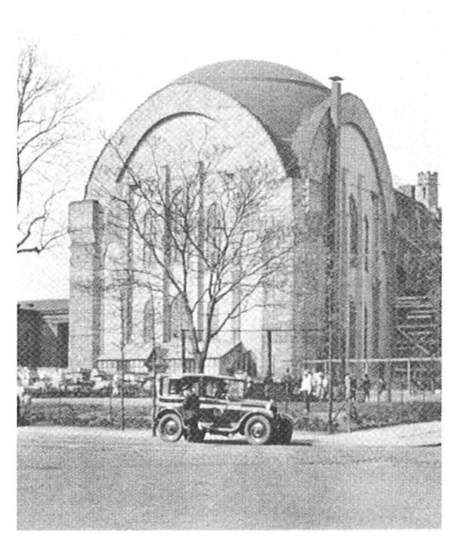
Catedral de St John the Divine. Manhattan, Nueva York, 1892-1932 (Heins&LaFarge, Cram&Ferguson). Fachada principal, estado actual. ST



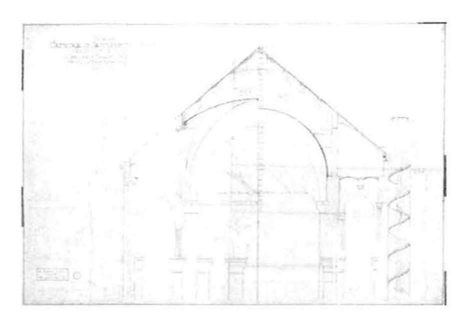
Catedral de St John the Divine. Vista en planta de la cúpula central, la mayor construida por los Guastavino. ST



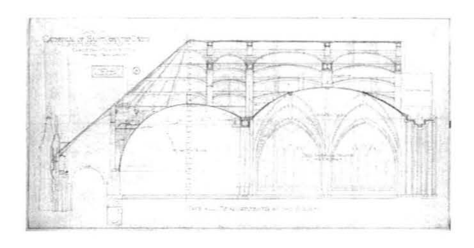
Catedral de St John the Divine. Vista del conjunto,con las naves ya construidas. AVL



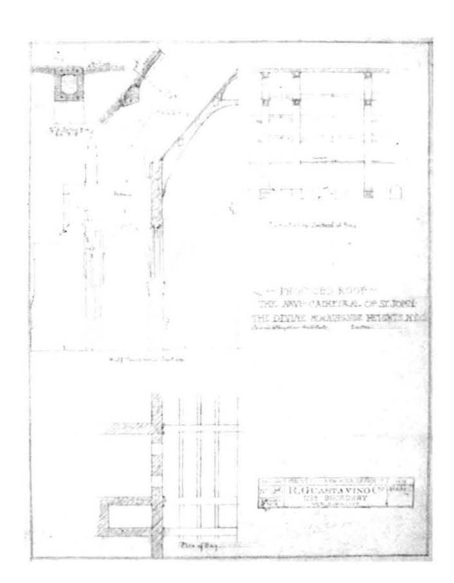
Catedral de St John the Divine. Vista general de la cúpula al acabar su construcción.



Catedral de St John the Divine. Sección transversal doble: a la izquierda, las naves; a la derecha, la cúpula central. AVL



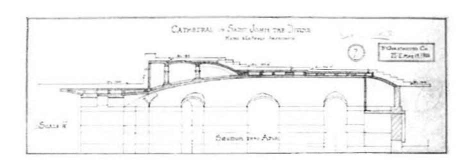
*Catedral de St John the Divine. Sección longitudinal por las naves. AVL



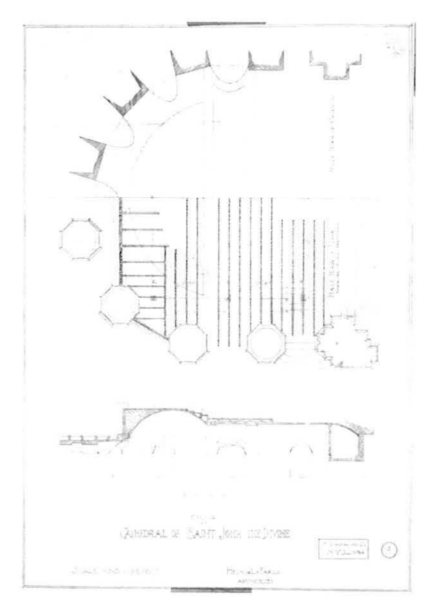
*Catedral de St John the Divine. Planta y secciones de la estructura proyectada para apoyar la cubierta, con arcos huecos de ladrillo. Finalmente, se colocaron unas cerchas metálicas para apoyo de la cubierta. AVL



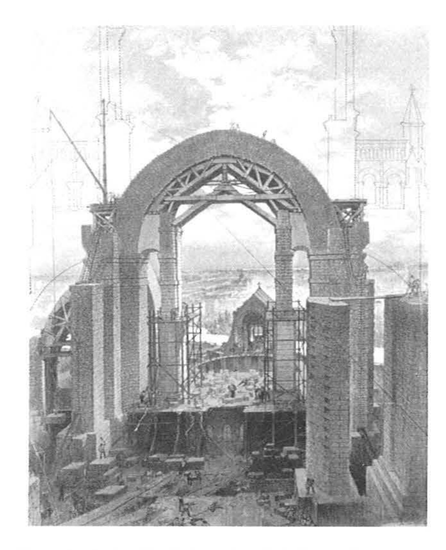
Catedral de St John the Divine. Intradós acabado de la bóveda de la cripta. ST



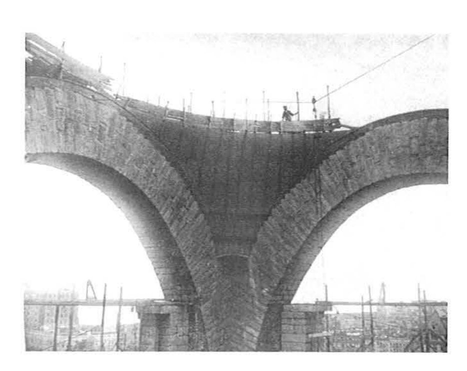
Catedral de St John the Divine. Sección de la cripta. AVL



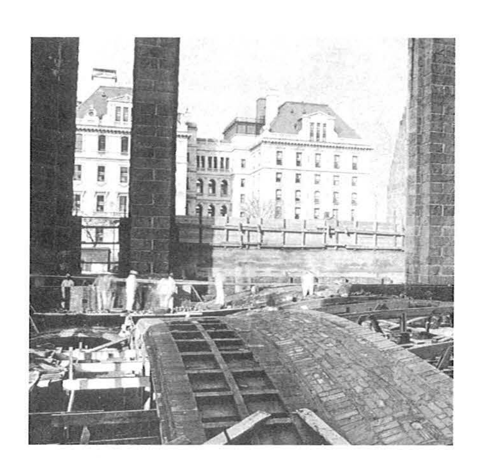
*Catedral de St John the Divine. Planta y sección de la cripta. AVL



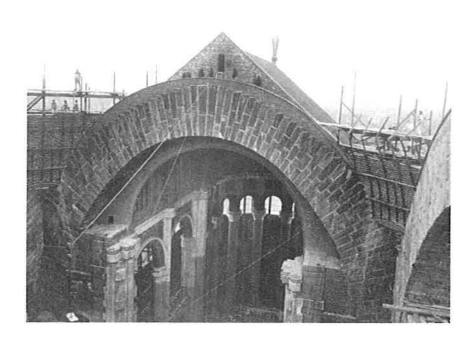
Catedral de St John the Divine. Construcción de los arcos torales, con sus cimbras, que sustentarán la cúpula central. AVL



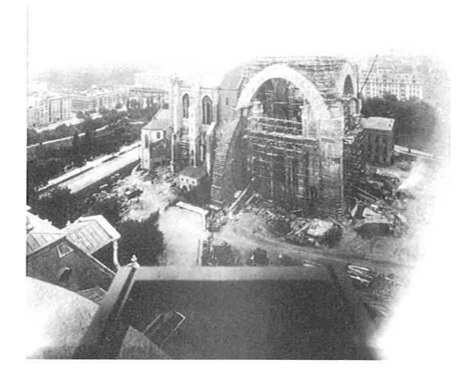
Catedral de St John the Divine. Remate de los paños de la cúpula entre arcos torales. AVL [Lámina 38]



*Catedral de St John the Divine. Bóveda de la cripta en construcción. AVL



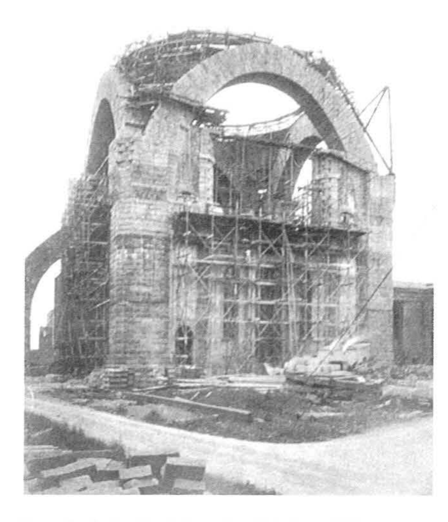
Catedral de St John the Divine. Inicio de la construcción de la cúpula entre los arcos torales. AVL [Lámina 38]



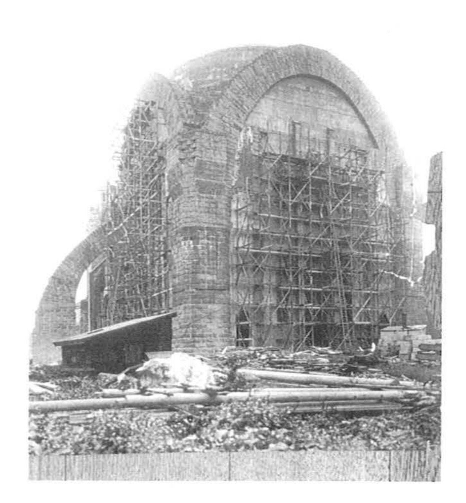
*Catedral de St John the Divine. Vista exterior de la cúpula en una fase intermedia de su construcción. AVL



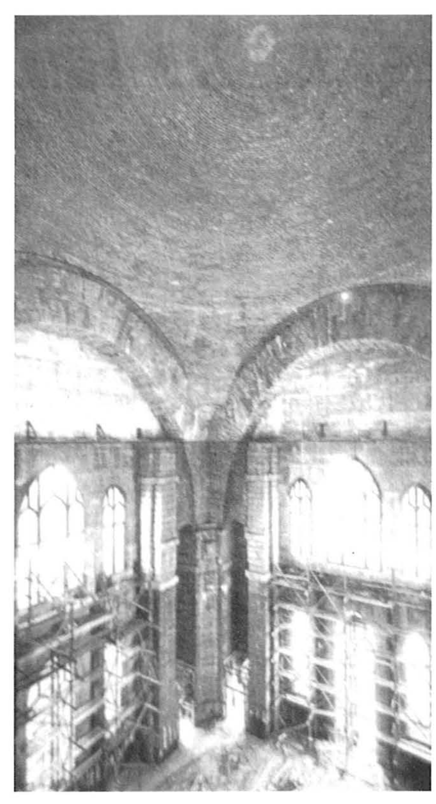
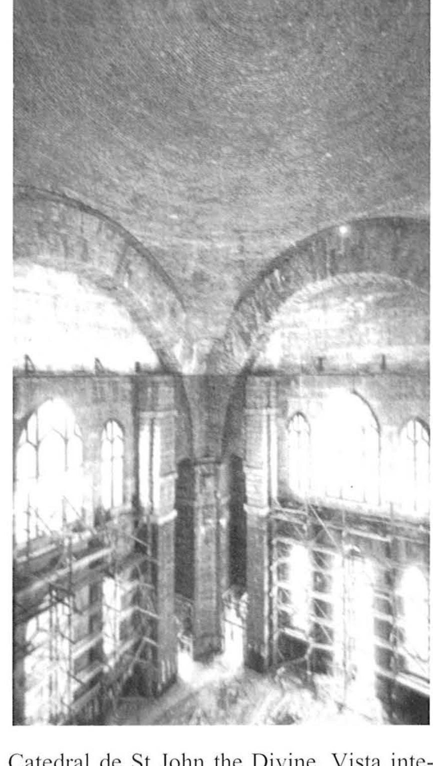
Catedral de St John the Divine. Detalle de aparejo en la girola que rodea la cúpula central. AVL



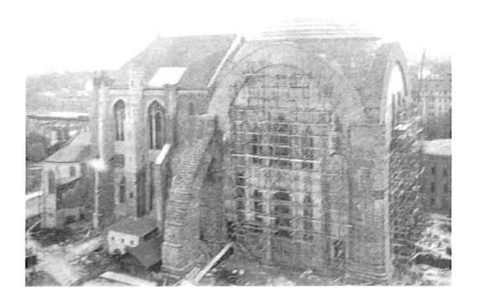
Catedral de St John the Divine. Vista exterior de la cúpula en una fase intermedia de su construcción, con los andamios exteriores para acceso a las zonas de trabajo. AVL [Lámina 37]



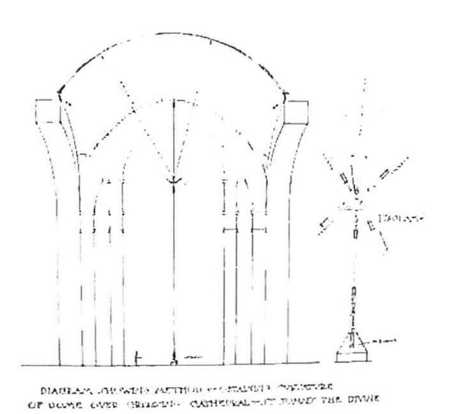
*Catedral de St John the Divine. Vista exterior de la cúpula terminada. Se han erigido los muros provisionales que la cerraron hasta la construcción de las naves. AVL

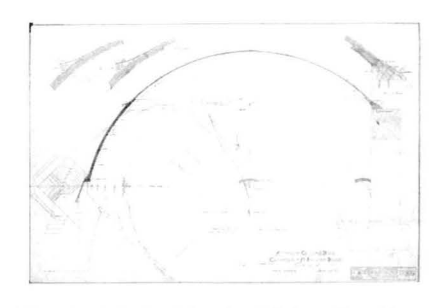
Catedral de St John the Divine. Vista interior de la cúpula acabada. AVL



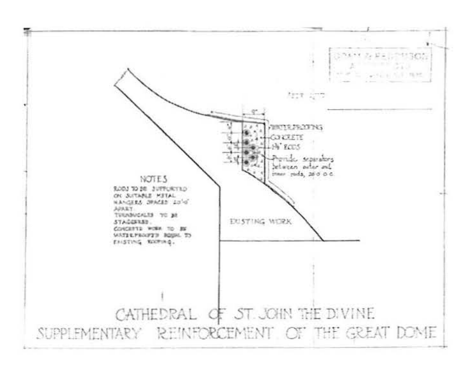
Catedral de St John the Divine. Vista exterior de la cúpula acabada.



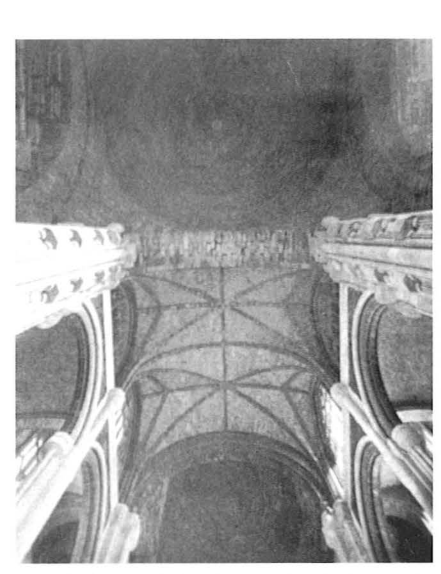
Catedral de St John the Divine. Descripción del dispositivo utilizado para controlar la geometría de la cúpula durante la ejecución. AVL



*Catedral de St John the Divine. Secciónes-de la cúpula: a la izquierda por la pechina, a la derecha por el arco toral, especificando radios de curvatura y detalles de encuentros y zunchos de refuerzo. AVL



Catedral de St John the Divine. Detalle de uno de los zunchos que se colocó posteriormente para reforzar la cúpula. AVL



Catedral de St. John the Divine. Bóvedas de crucería en las naves, construidas con ladrillo corrugado y posteriormente forradas con Akoustolith. AVL

El fin de la compañía

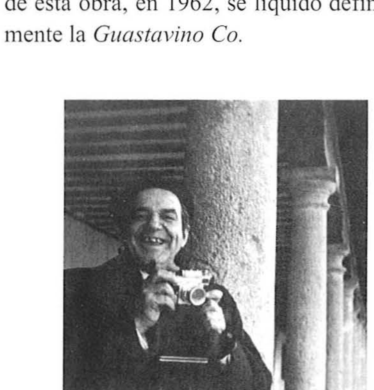
En 1943 Guastavino hijo vendió sus participaciones en la compañía, dejando como presidente a A.M. Bartlett. La decadencia de la compañía correría en paralelo al incremento del coste de la mano de obra y al perfeccionamiento y desarrollo de la técnica del hormigón armado, que posibilitaba ya competitivas bóvedas en delgadas membranas. Tras la liquidación de la firma el profesor Collins adquirió el vasto archivo de la *Guastavino Company* para la Universidad de Columbia, donde actualmente se custodia.

George Rosenborough Collins (1917-1993), catedrático de Historia del Arte y la Arqueología de la Universidad de Columbia, fue un entusiasta estudioso de la arquitectura española. Su interés por ésta partió de su descubrimiento de la figura de Arturo Soria; luego se centró en los arquitectos catalanes de finales del XIX, muy particularmente en Gaudí, cuya figura difundió internacionalmente en los años sesenta, y creó el más importante archivo existente sobre arquitectura modernista catalana (donado al Instituto de Arte de Chicago); su estudio le llevó a conocer las bóvedas tabicadas, y de ahí a seguir la trayectoria de los Guastavino en EEUU.

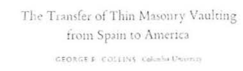
El testigo de Guastavino sería retomado en España tras la Guerra Civil, cuando la escasez de hierro y cemento obligó a muchos arquitectos a mirar de nuevo la práctica de la albañilería; entre ellos, algunos de los nombres que más habían aportado a la formalización arquitectónica del hormigón armado: Secundino Zuazo, Francisco de Asís Cabrero y, sobre todo, Luis Moya Blanco. Por otra parte, la aplicación eventual de bóvedas tabicadas por Le Corbusier supuso una incorporación de esta cultura vernácula a la más destacada arquitectura moderna.



Detalle de la construcción de la bóveda del *National Shrine of Inmaculate Conception*. Washington, Washington DC, 1920-1960. (Maginnis & Walsh). Con la culminación de esta obra, en 1962, se liquidó definitivamente la *Guastavino Co.*

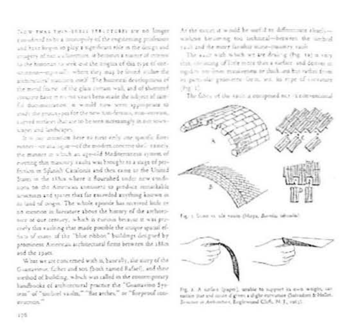


El profesor George R. Collins en una de sus visitas a España.

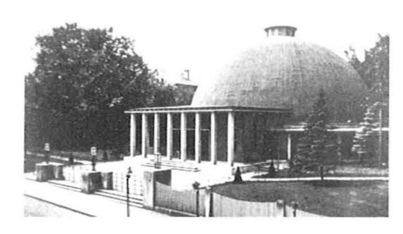


The Transfer of Thin Masonry Vaulting from Spain to America

GEORGE R. COLLINS



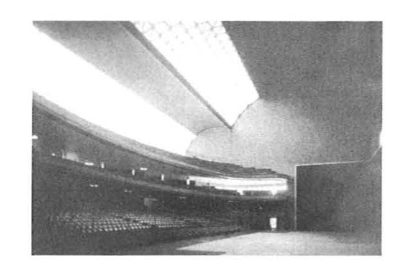
Portada del artículo de Collins *«The Transfer of Thin Masonry Vaulting from Spain to America»*. Este artículo, publicado en 1968, constituye la primera aproximación historiográfica a la obra de los Guastavino.



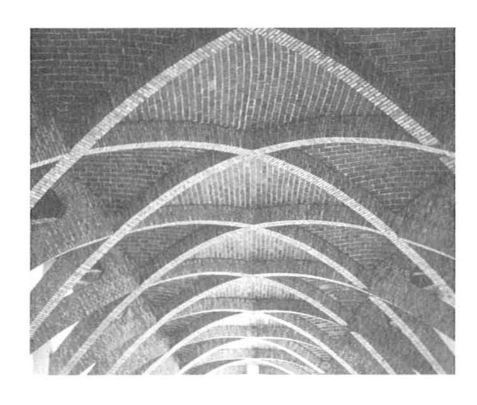
Planetario Zeiss. Jena, Alemania,1926. (Schreiter & Schlag, arquitectos; F. Dischinger, ingeniero). Vista exterior del edificio acabado. Este edificio fue una de las primeras y representativas cúpulas realizadas con delgadas membranas de hormigón armado.



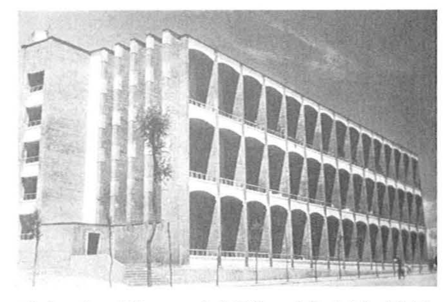
Planetario Zeiss. Vista interior en construcción, con las armaduras preparadas para el hormigonado.



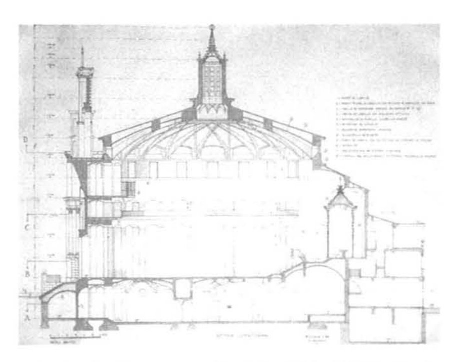
Frontón Recoletos. Madrid, 1935. (Secundino Zuazo, arquitecto; Eduardo Torroja, ingeniero). Vista del interior. La gran bóveda -en *ala de gaviota*- de este edificio supuso una de las más destacadas aportaciones de la técnica del hormigón armado a la configuración de un espacio arquitectónico.



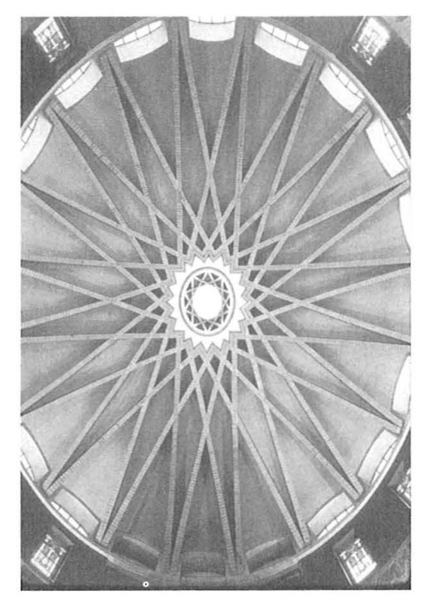
Museo de América. Ciudad Universitaria, Madrid, 1944-1947. (Luis Moya Blanco y Luis Martínez Feduchi). Vista de las bóvedas de arcos cruzados de la sala principal. El Museo de América, levantado durante los años de la autarquía, representa un máximo nivel en la recuperación de la técnica de bóvedas tabicadas.



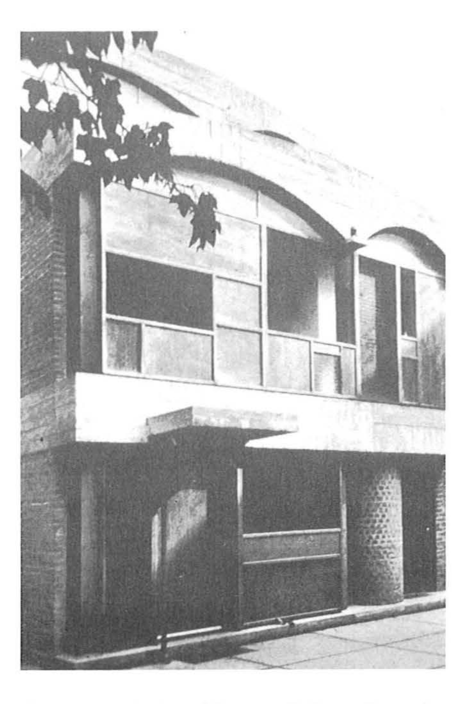
Viviendas Virgen del Pilar. Madrid, 1948. (Francisco de Asís Cabrero). Vista exterior con las bóvedas tabicadas. El impulso dado por Moya a la construcción tabicada fue seguido por otros arquitectos, como Asís Cabrero, que materializaron importantes investigaciones en torno a la aplicación de este procedimiento tradicional a la arquitectura moderna.



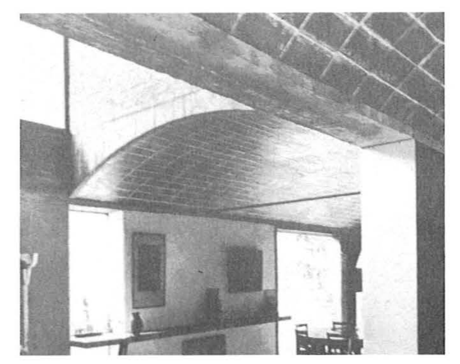
Iglesia de San Agustín. Madrid, 1947. (Luis Moya Blanco). Sección longitudinal.



Iglesia de San Agustín. Vista de la cúpula de arcos cruzados. La gran cúpula de planta elíptica de esta iglesia constituyó un tipo –que bebe en las bóvedas de arcos cruzados del legado arquitectónico hispanomusulmán- que el propio Moya desarrollaría posteriormente en múltiples edificios, caracterizando un capítulo de la arquitectura del siglo XX en España.



Casa Jaoul. Neuilly-sur-Seine, Francia, 1956. (Le Corbusier). Vista exterior. La construcción con bóvedas tabicadas es recurrente en la trayectoria de Le Corbusier; ello armonizó, con singular valor de paradigma, la tradición con la modernidad.



Casa Jaoul. Detalle del intradós de las bóvedas.

Álbum



Lámina 1. Fábrica Batlló, Barcelona, 1868-70. Rafael Guastavino Moreno.

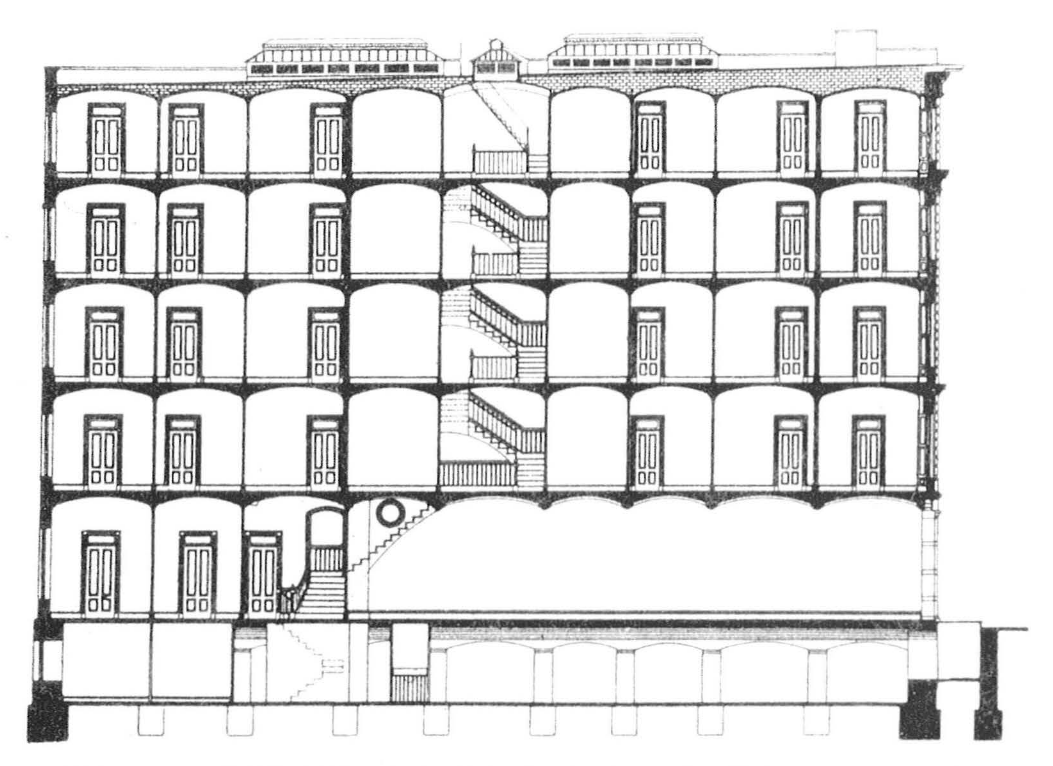


FIG. 19. FIRE-PROOF TENEMENT HOUSE, NEW YORK CITY.
LONGITUDINAL SECTION SHOWING TILE ARCH CEILINGS
FROM CELLAR TO ROOF.

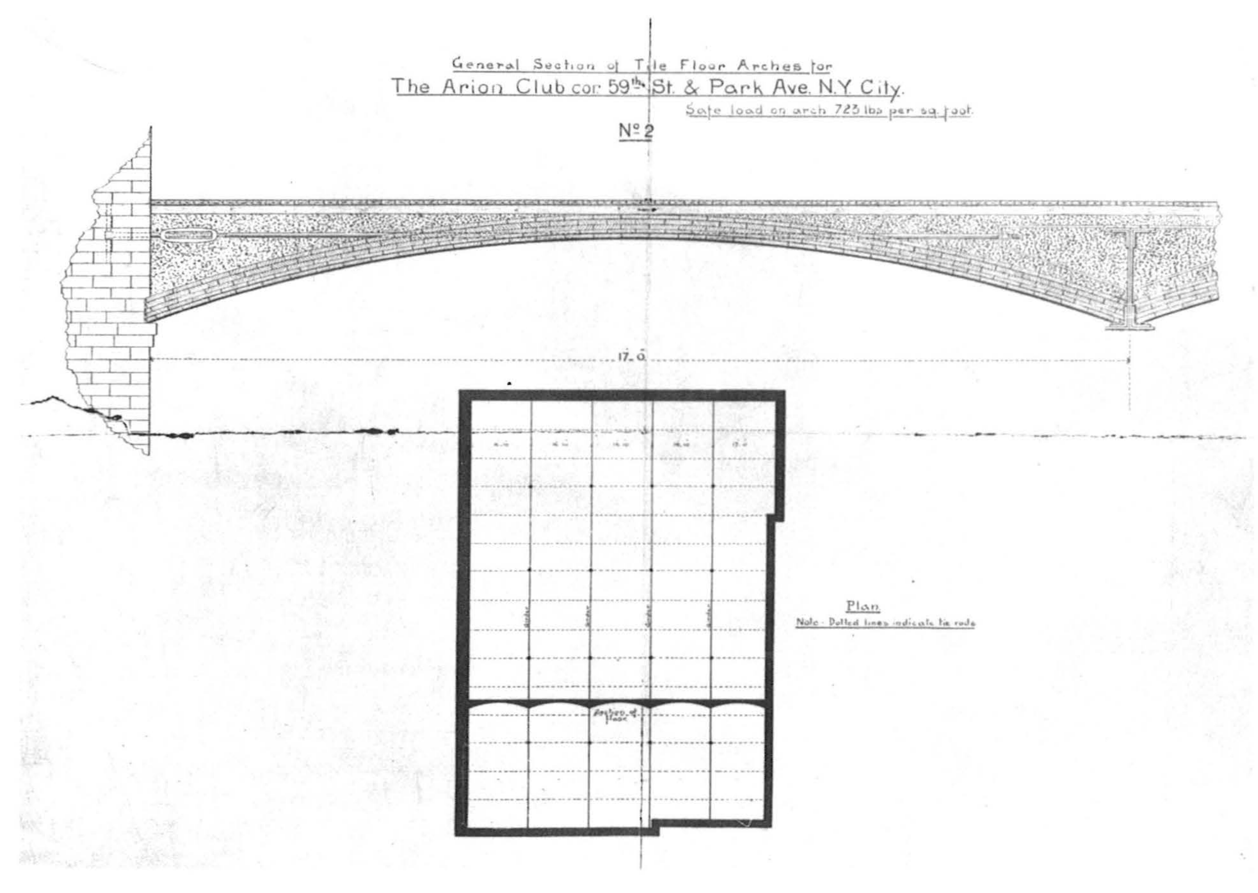


Lámina 2. Arriba: Arion Club. Manhattan, Nueva York, 1886 (De Lemos& Cordes). Abajo; Edificio de apartamentos en Manhattan, Nueva York, 1883 (Guastavino Moreno). AVL



Lámina 3. Construcción de bóvedas en la Biblioteca Pública de Boston, Boston, Massachusetts, 1889-1890 (Mc Kim, Mead and White). AVL

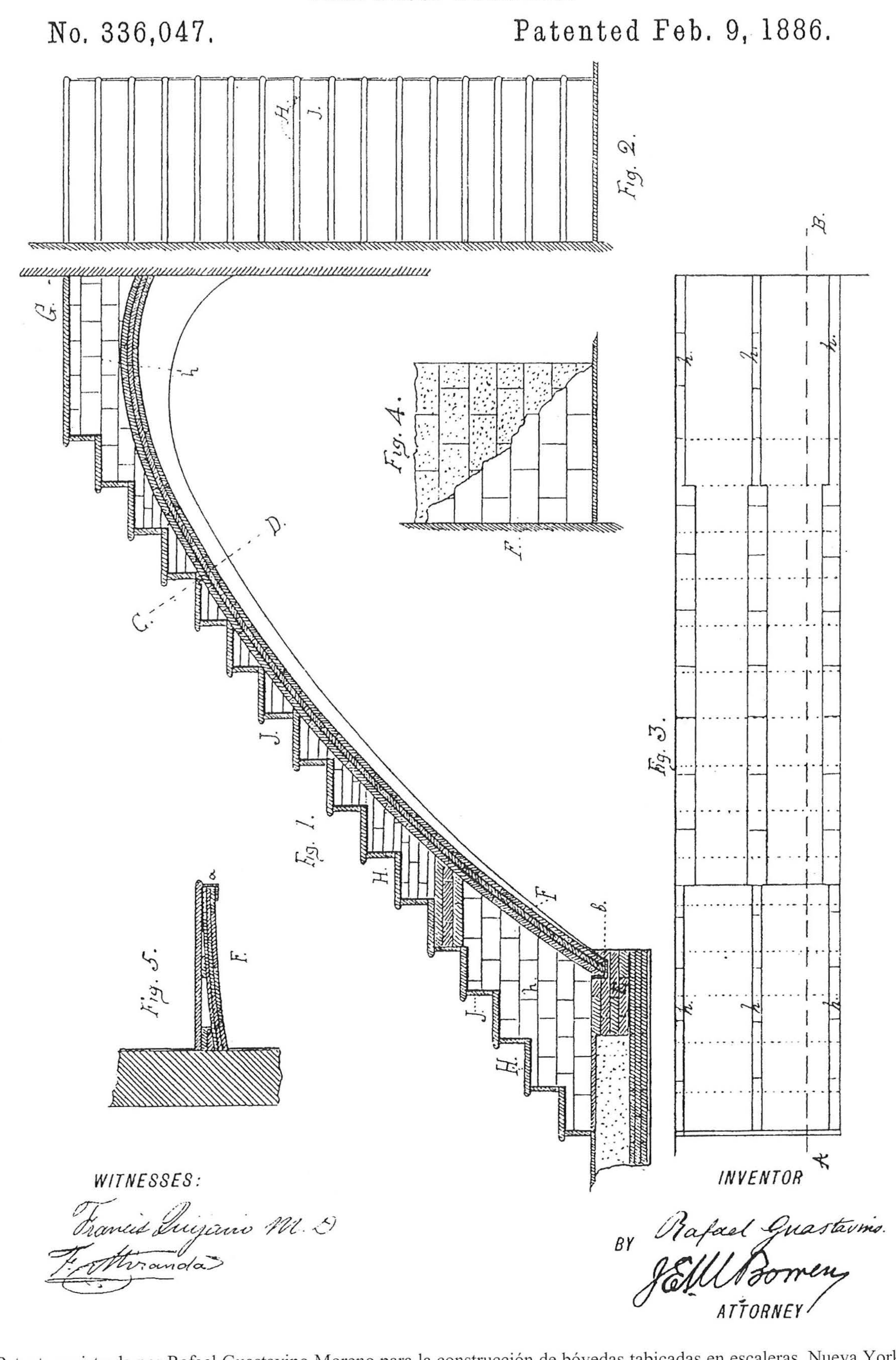


Lámina 4. Patente registrada por Rafael Guastavino Moreno para la construcción de bóvedas tabicadas en escaleras. Nueva York, 1886. AVL

GUASTAVINO RIB AND DOME SYSTEM

APPROVED FOR CITY ENGINE HOUSE 363 BROOME ST.
" " HELEN GOULD STABLE 213 WEST 58 ST.

"BRIDGES AND FLAT WORK" OR CONCRETE

RIB

RIB

CROSS SECTION A.B.

SCALE 1"= ONE FOOT

R. GUASTAVINO CO.
FULLER BUILDING
New York City

Lámina 5. Guastavino System: aplicación del sistema a la ejecución de bóvedas sobre arcos de ladrillo. AVL

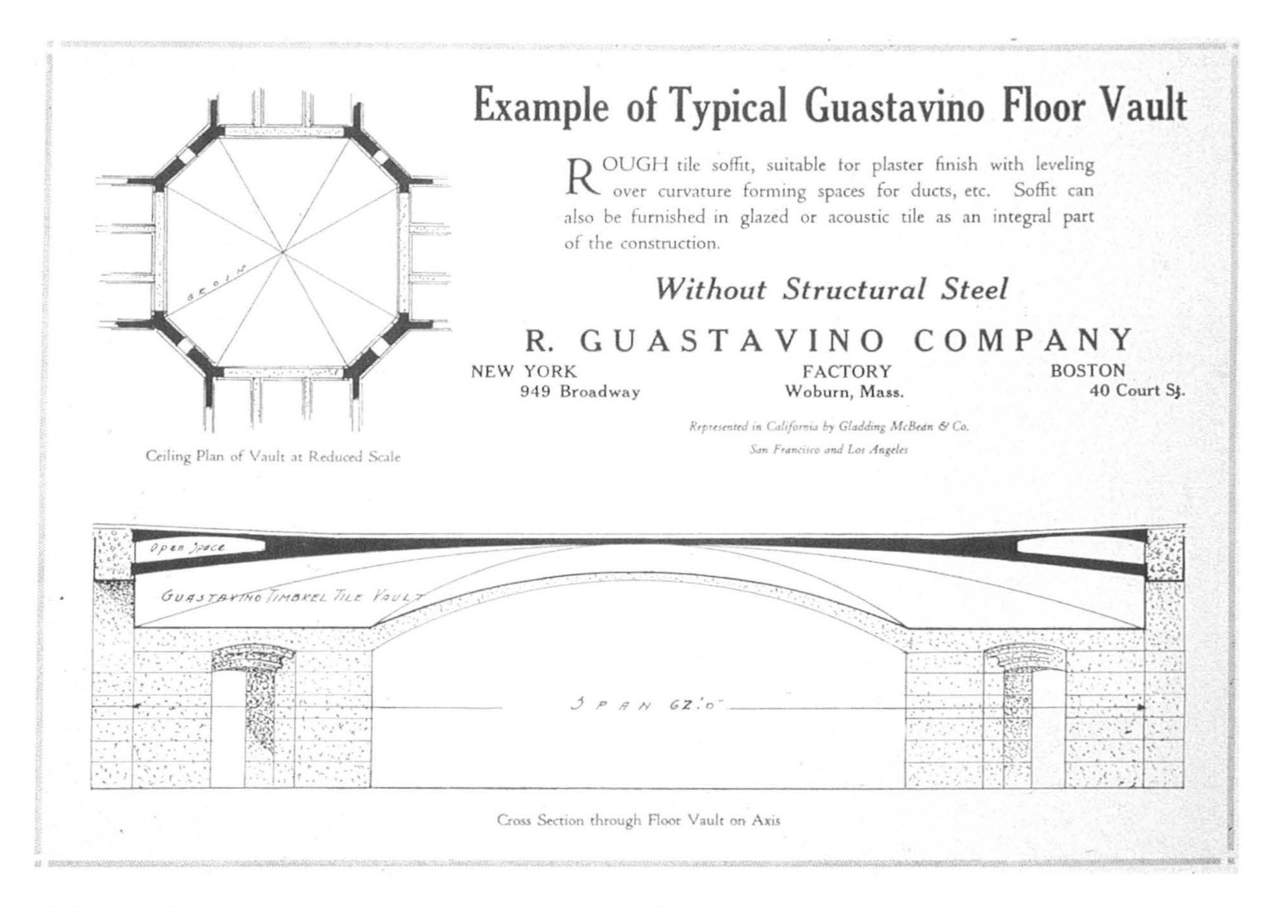


Lámina 5. Publicidad de la compañía acerca de sus bóvedas para pisos. AVL

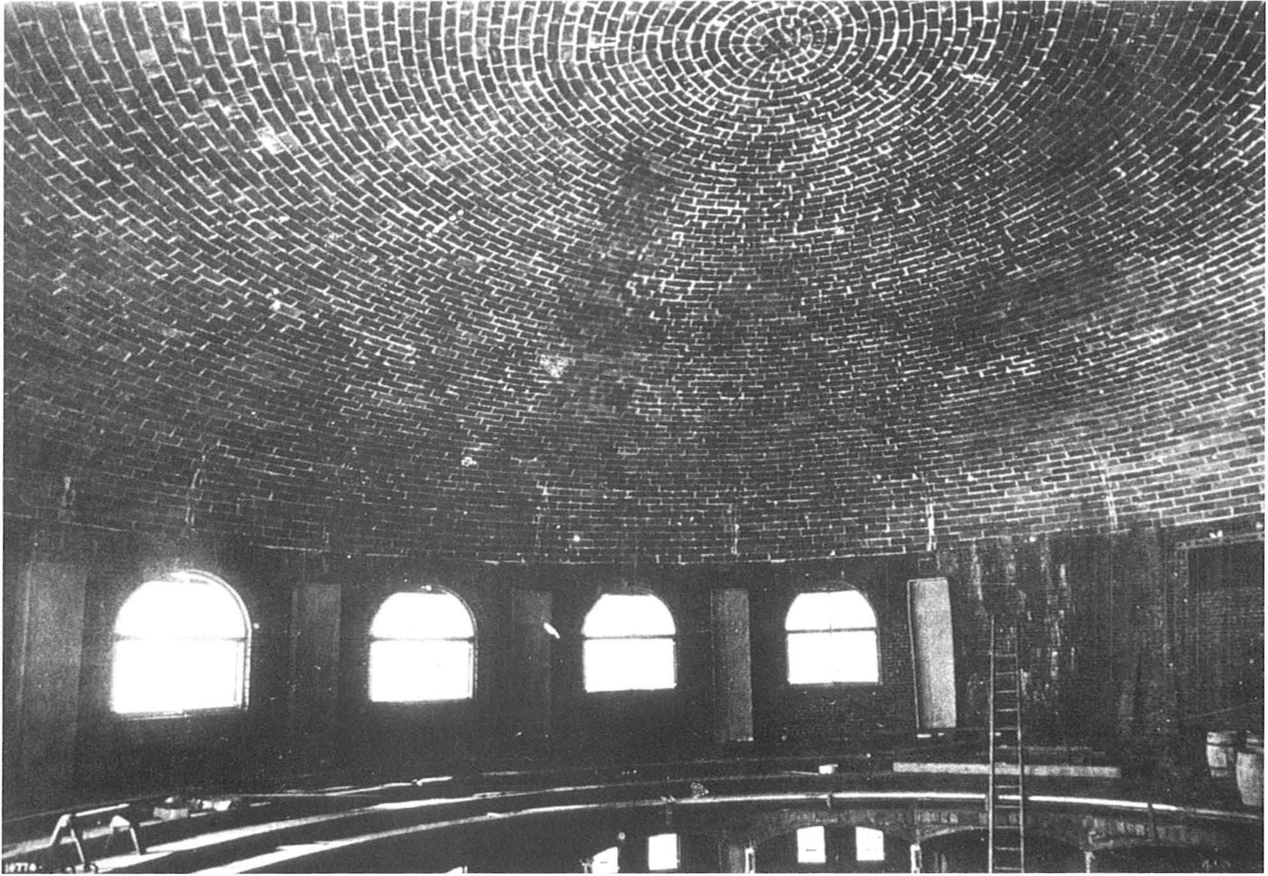
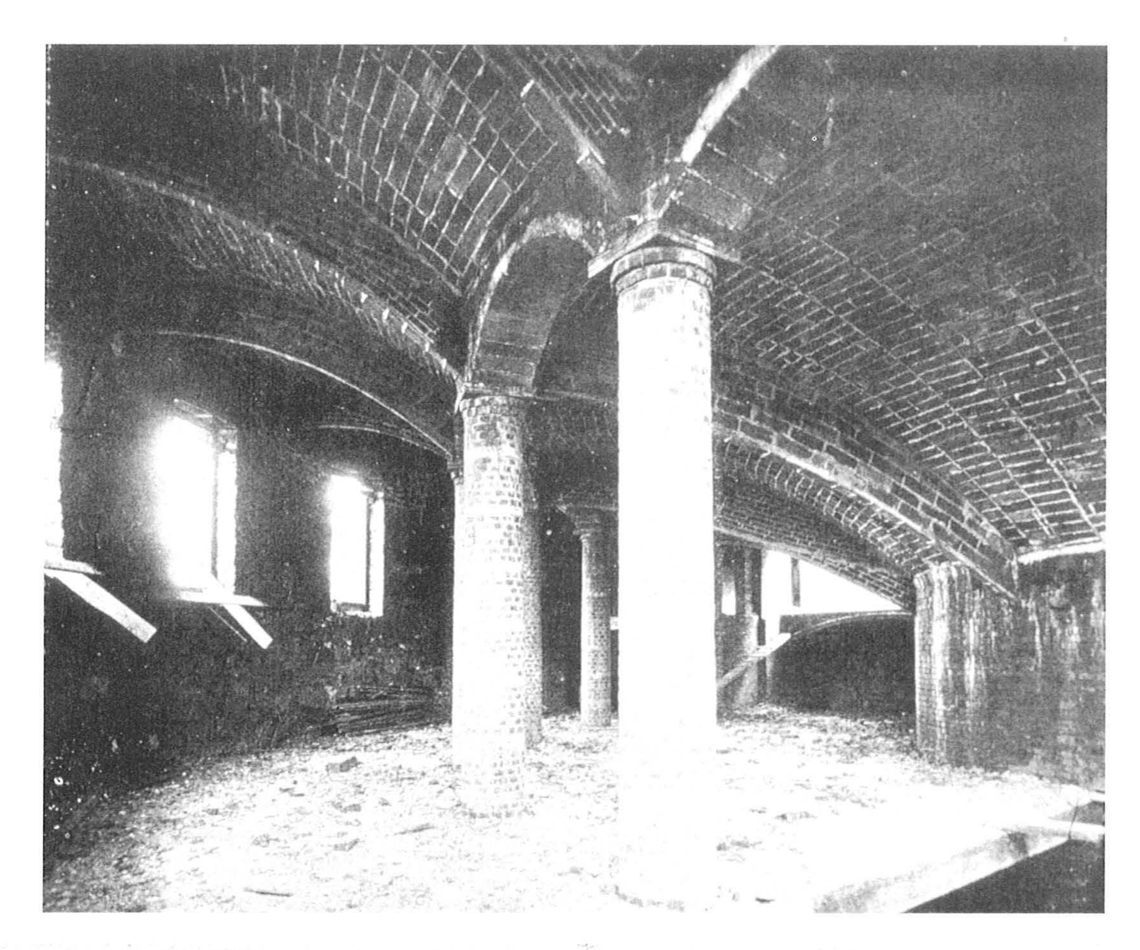


Lámina 6. East Boston High School. Boston, Massachusets, 1899 (Brown&Moses). AVL

Lámina 7. Reservoir Dome, Waltham, Massachussets, ca. 1900. AVL



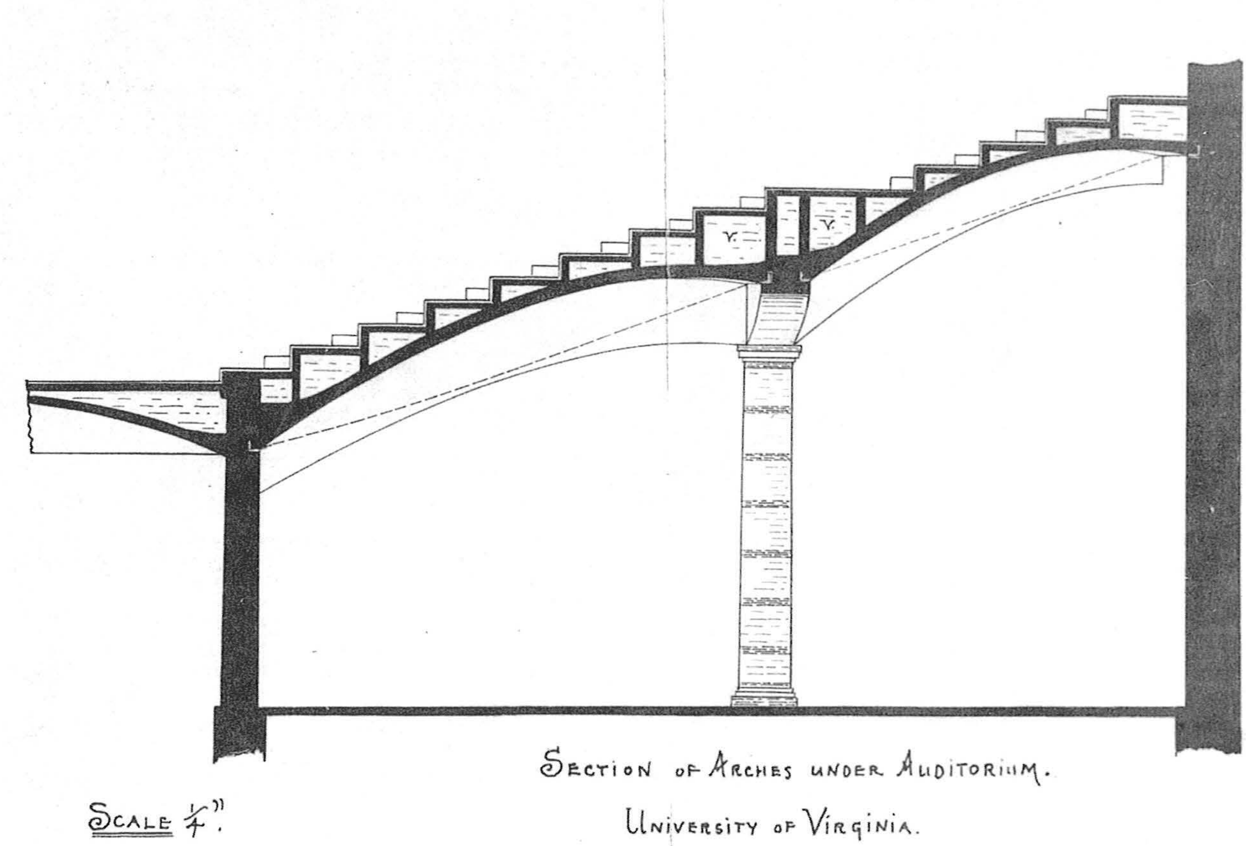


Lámina 8. Cabel Hall en la Universidad de Virginia Charlottesville, ca. 1900 (Mc Kim, Mead & White). AVL

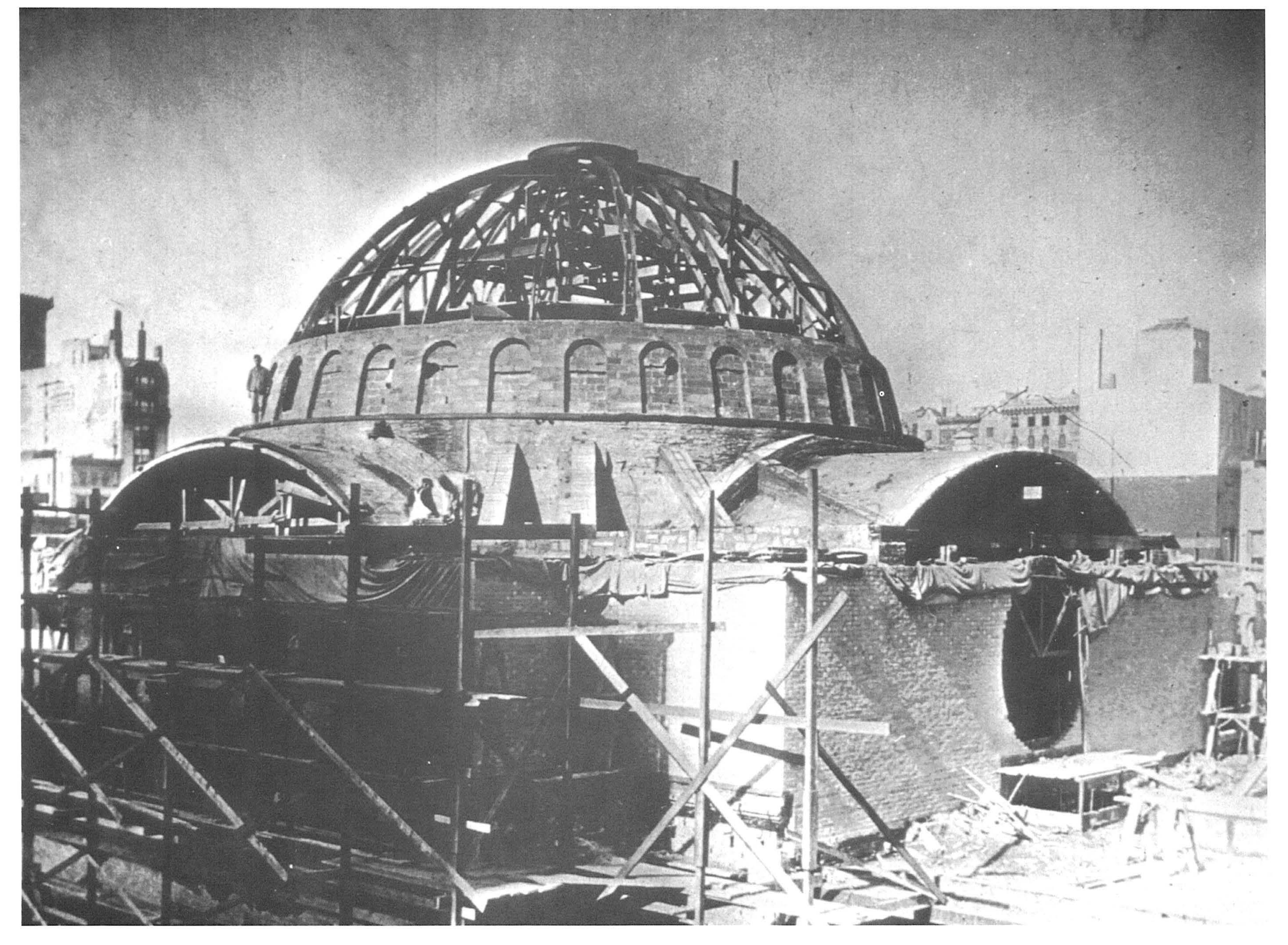


Lámina 9. Madison Square Presbyterian Church. Manhattan, Nueva York, 1904 (McKim, Mead & White). AVL



Lámina 10. Ensayo de carga de una bóveda tabicada. Nueva York, 1901. AVL

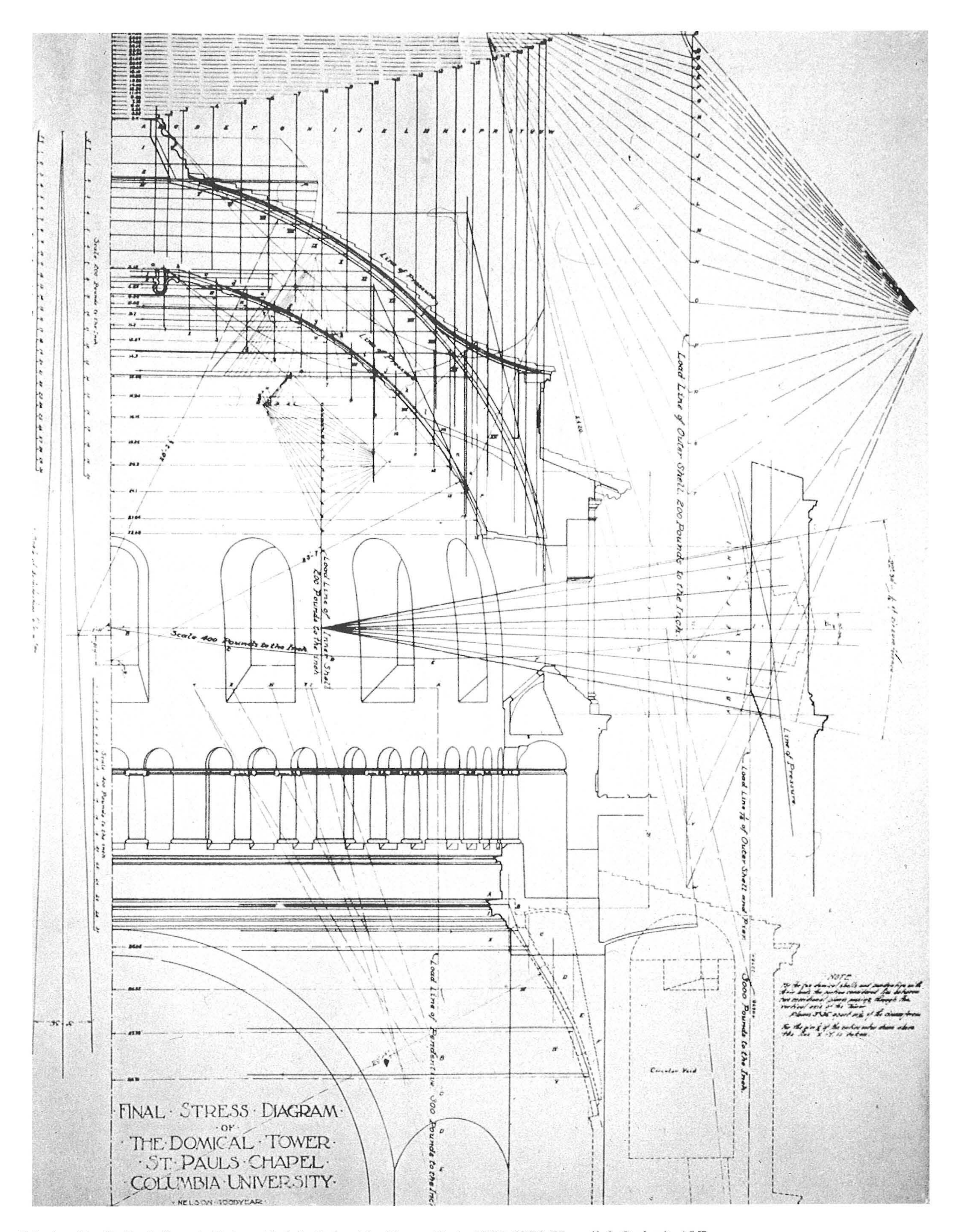


Lámina 11. St. Paul Chapel, Universidad de Columbia. Nueva York, 1905-1906 (Howell & Stokes). AVL

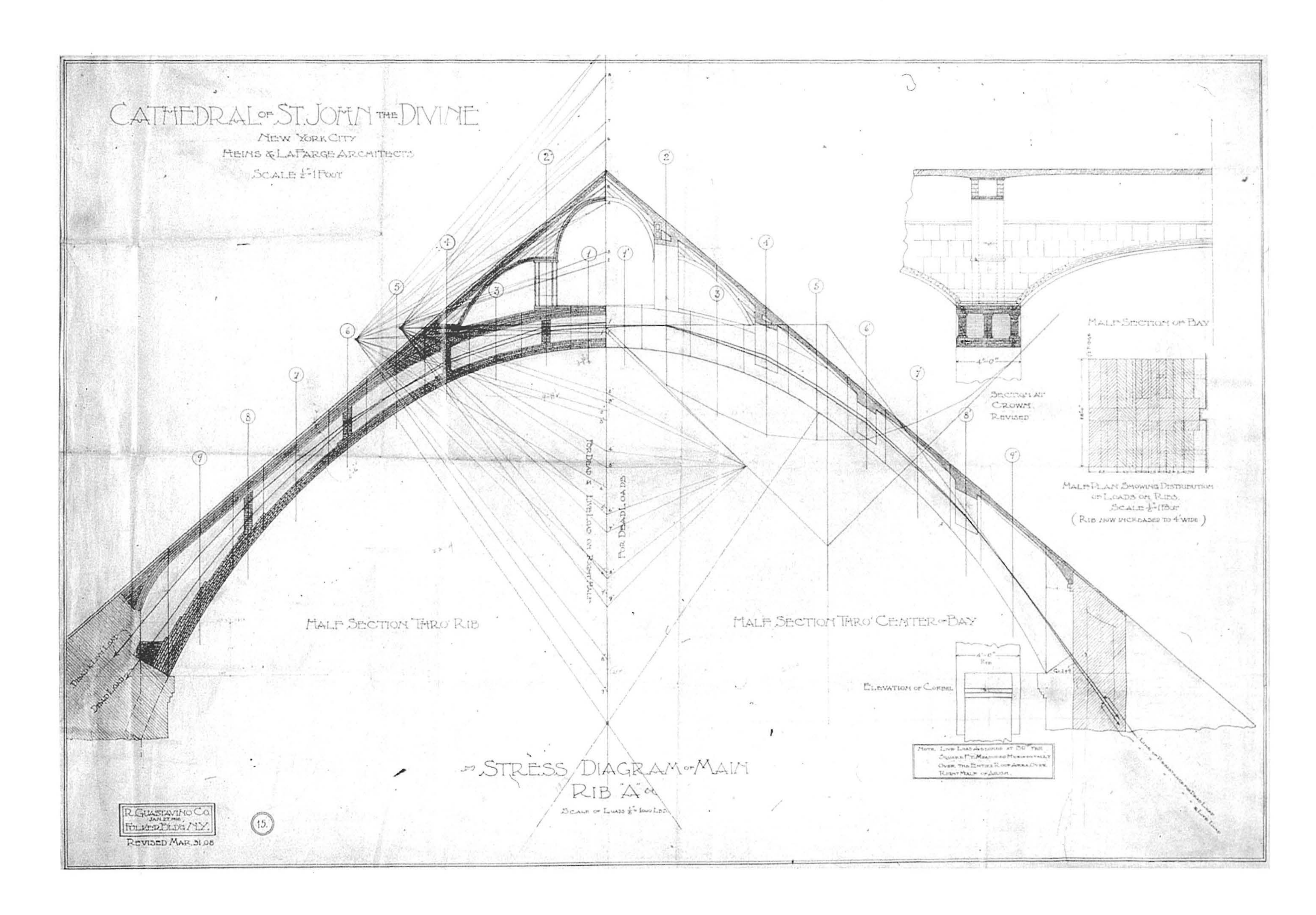


Lámina 12. Catedral de St. John the Divine. Nueva York. 1892-1932 (Heins&LaFarge, Cram&Ferguson). AVL

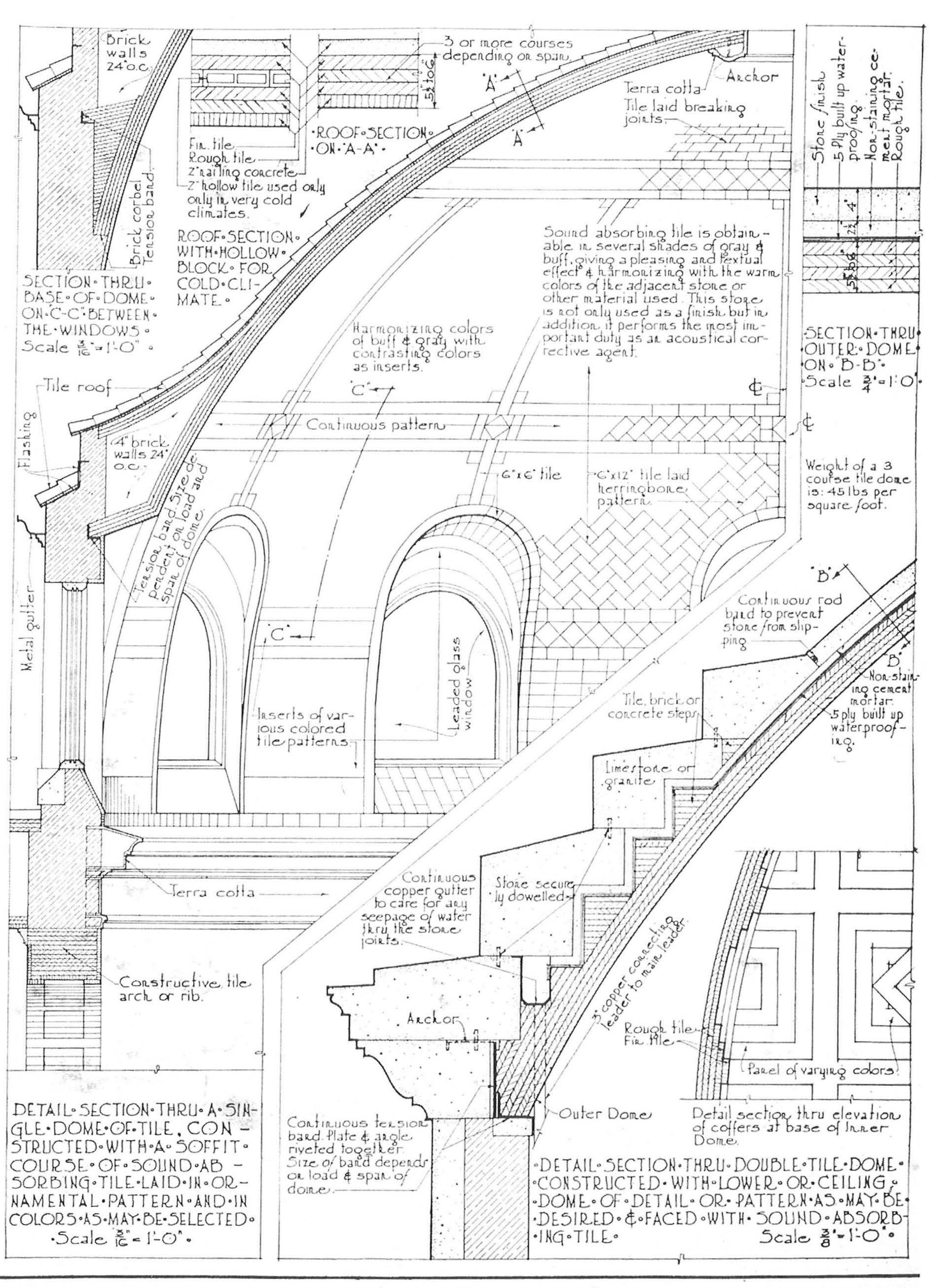


Lámina 13. Dibujo que describe de manera genérica la construcción de una cúpula. AVL

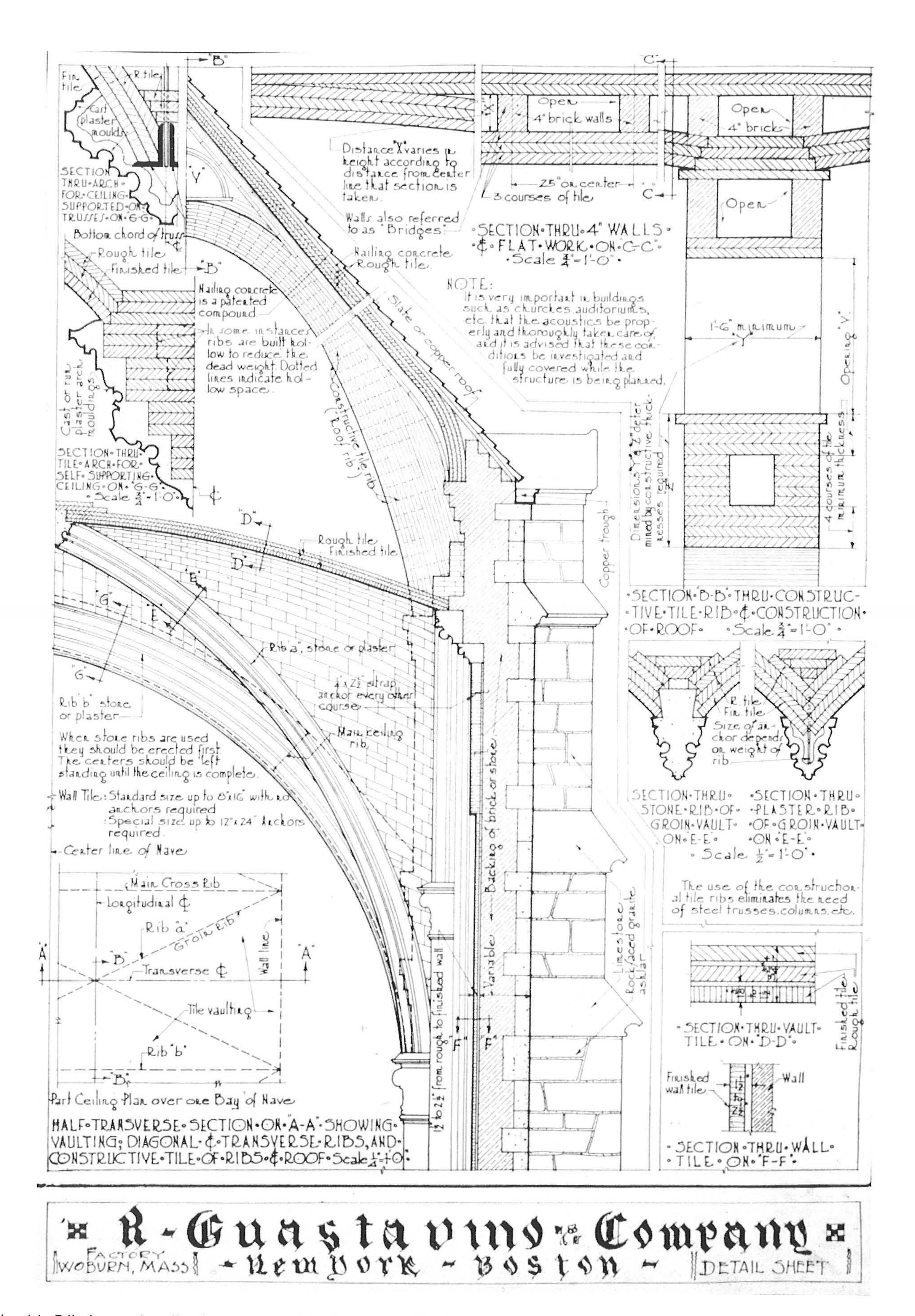


Lámina 14. Dibujo que describe de manera genérica la construcción de una bóveda neogótica. AVL

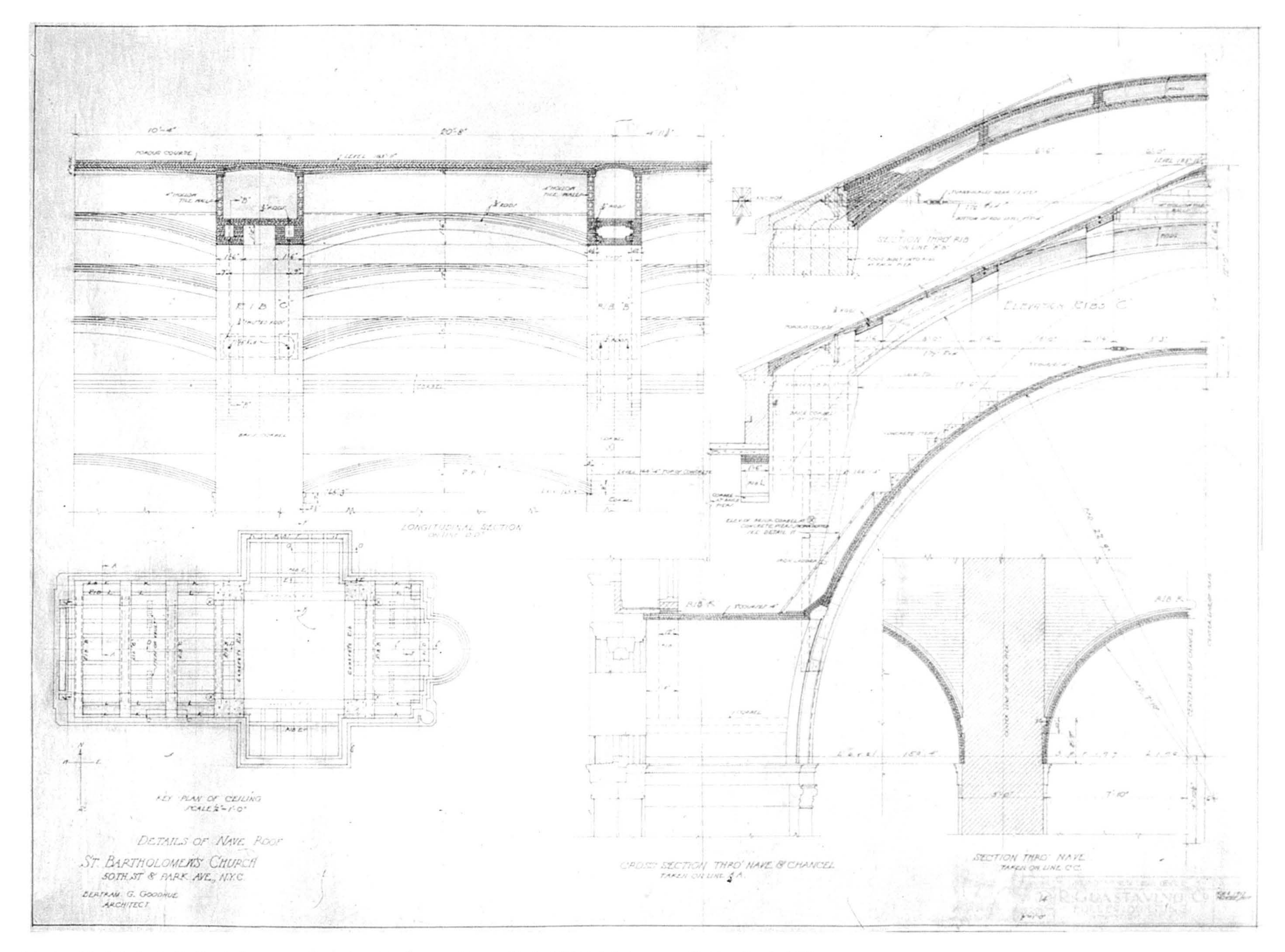


Lámina 16. Iglesia de St. Bartholomew en Park Av., Manhatttan, Nueva York, 1917-1921 (Bertram G. Goodhue). AVL

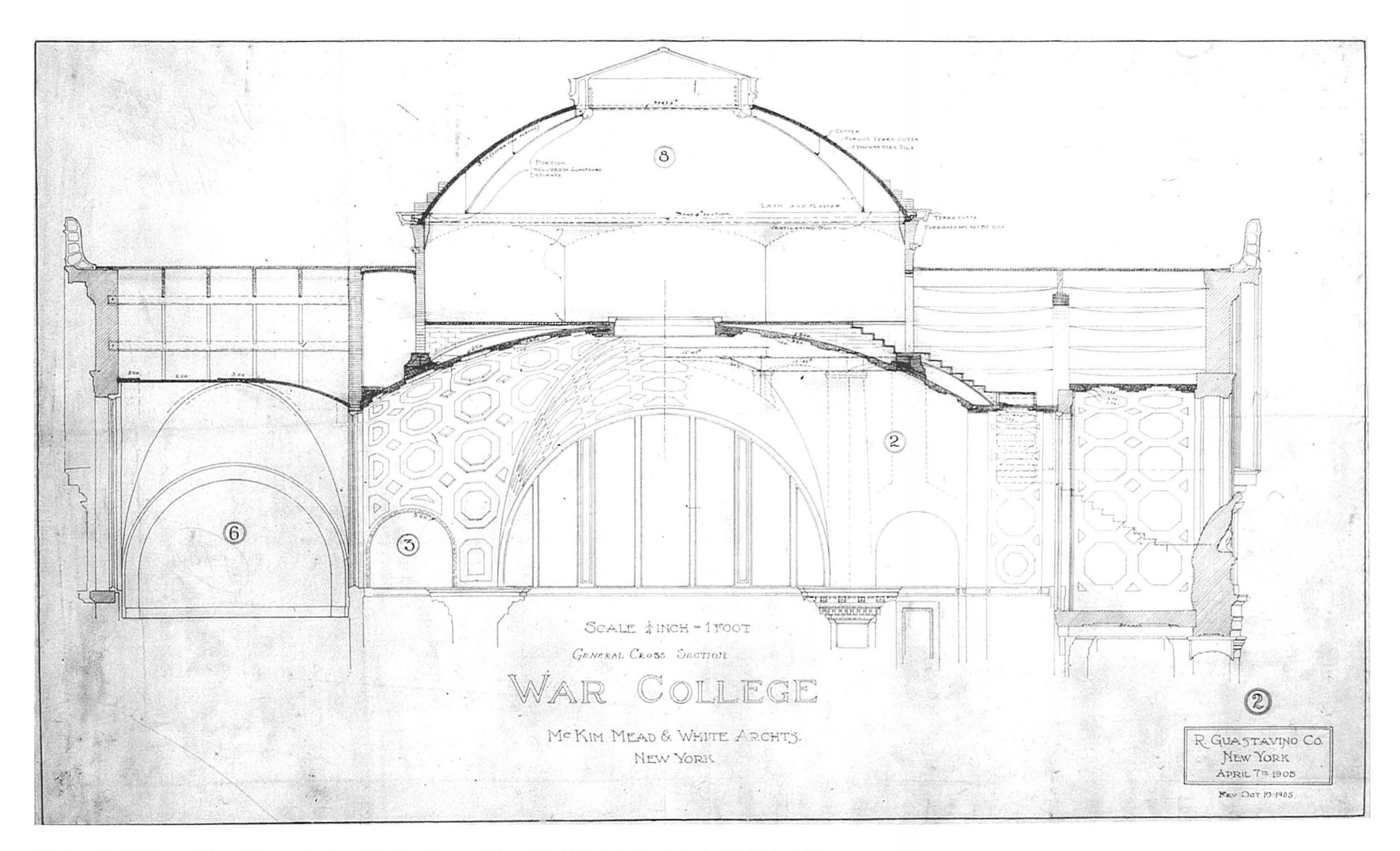


Lámina 17. US Army War College. Fort McNair, Washington DC, 1903-1906 (McKim, Mead & White). AVL

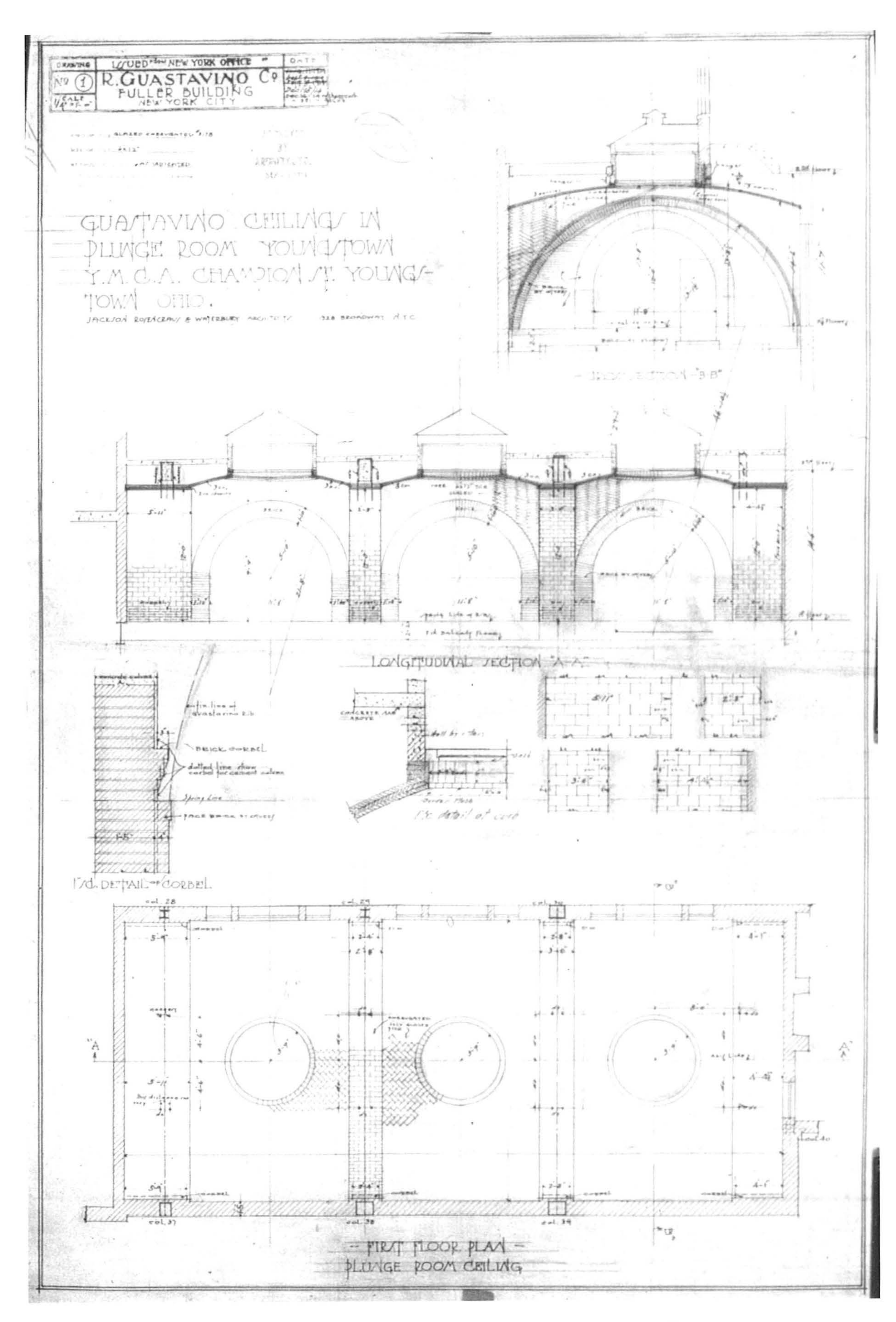


Lámina 18. Depósito de agua en Youngstown Y.M.C.A. 1914 (Jacken, Rosencrans & Waterbury). AVL



Lámina 19. Pennsylvania Station. Manhattan, Nueva York, 1905-1909. (Demolido en 1963) (McKim, Mead & White). AVL

TERMINAL

DETAIL OF COLUMN

REVISED CROSS SECTION (WITH REVISED CURVE) OF RIBS (3)

TYPICAL CROSS SECTION (2)

SECTIONS OF FIRST FLOOR DOME CONSTRUCTION

SCALE 1/2"=1'-0"

R. GUASTAVINO CO.
NOV. 6. 1907.
FULLER BLDG N.Y.

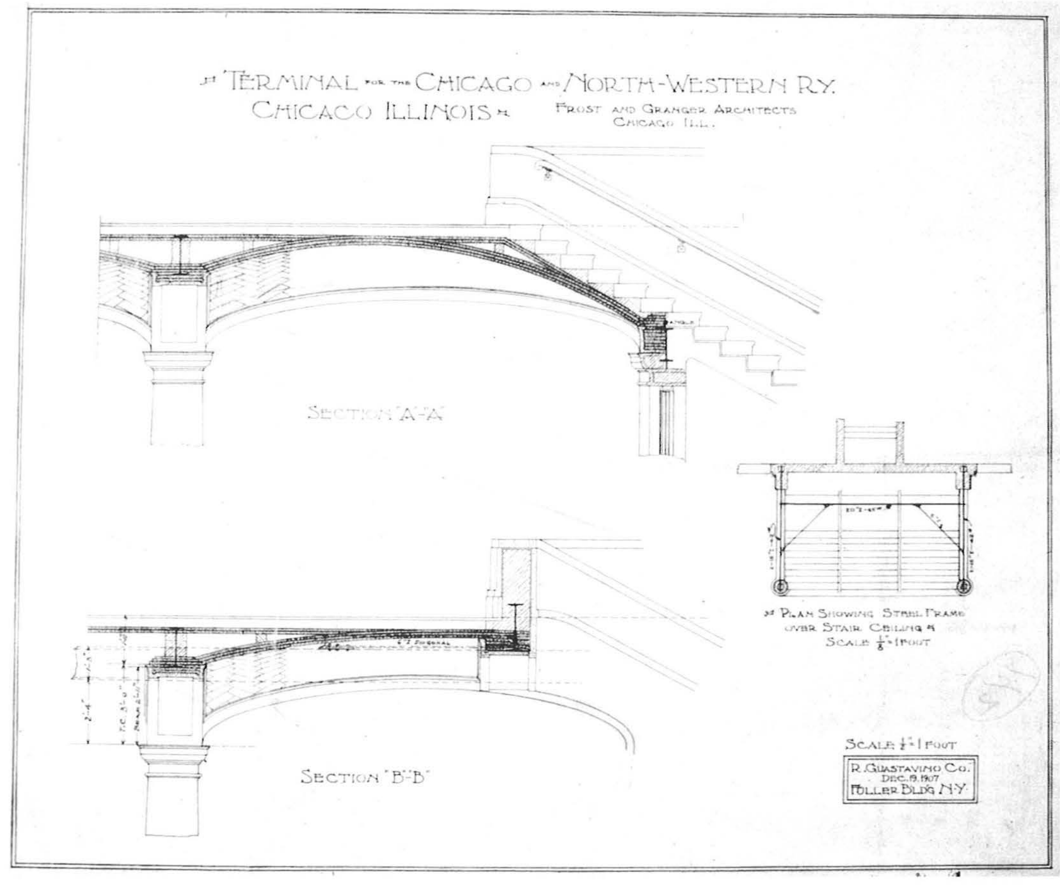


Lámina 20. Estación de ferrocarril North Western Railway, Chicago, Illinois, 1908-1910 (Frost & Grange). AVL

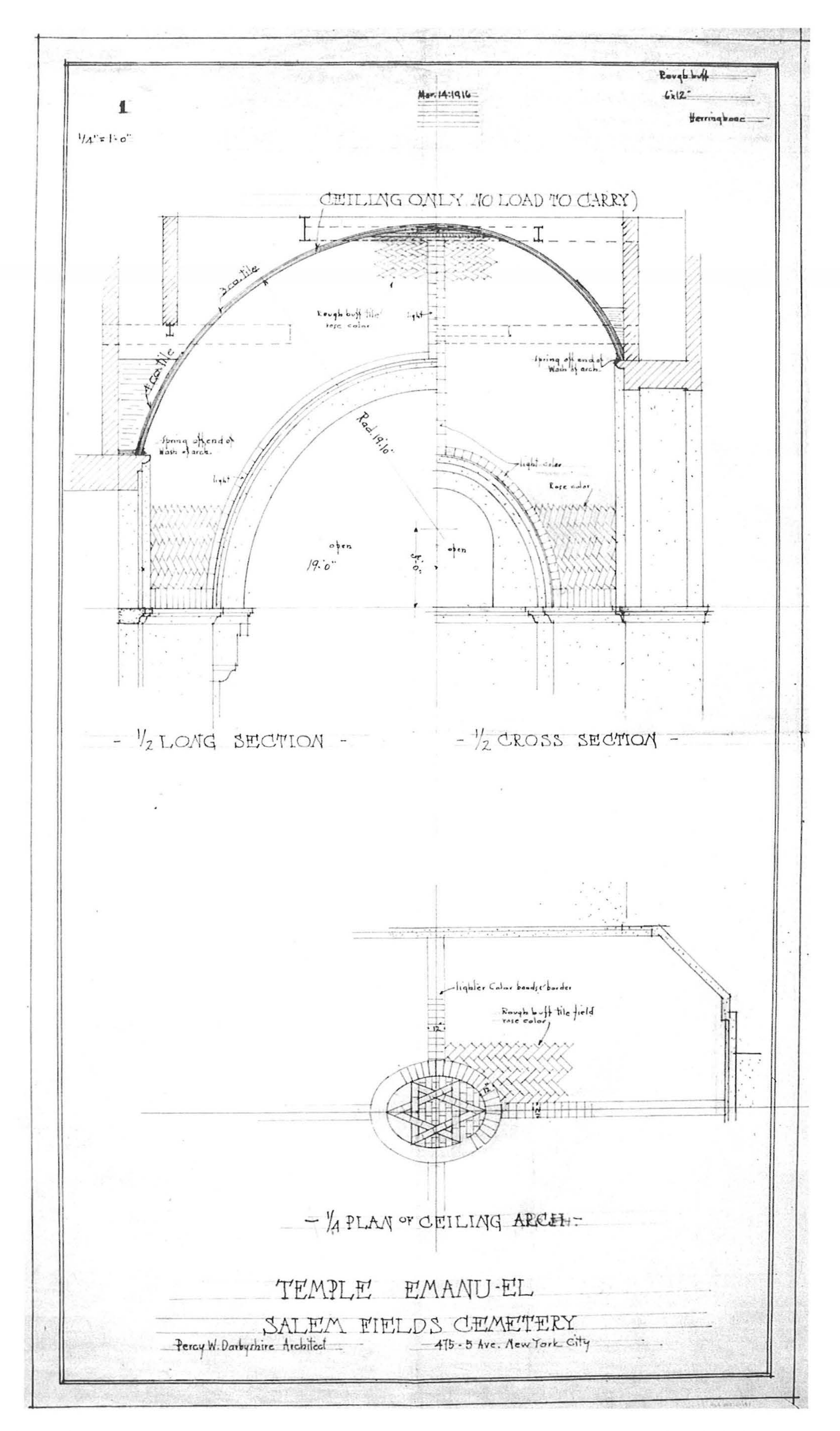


Lámina 21. Templo de Emanu-el, Salem Fields Cemetery, Brooklyn, Nueva York, 1916 (Percy W. Darbyshire). AVL

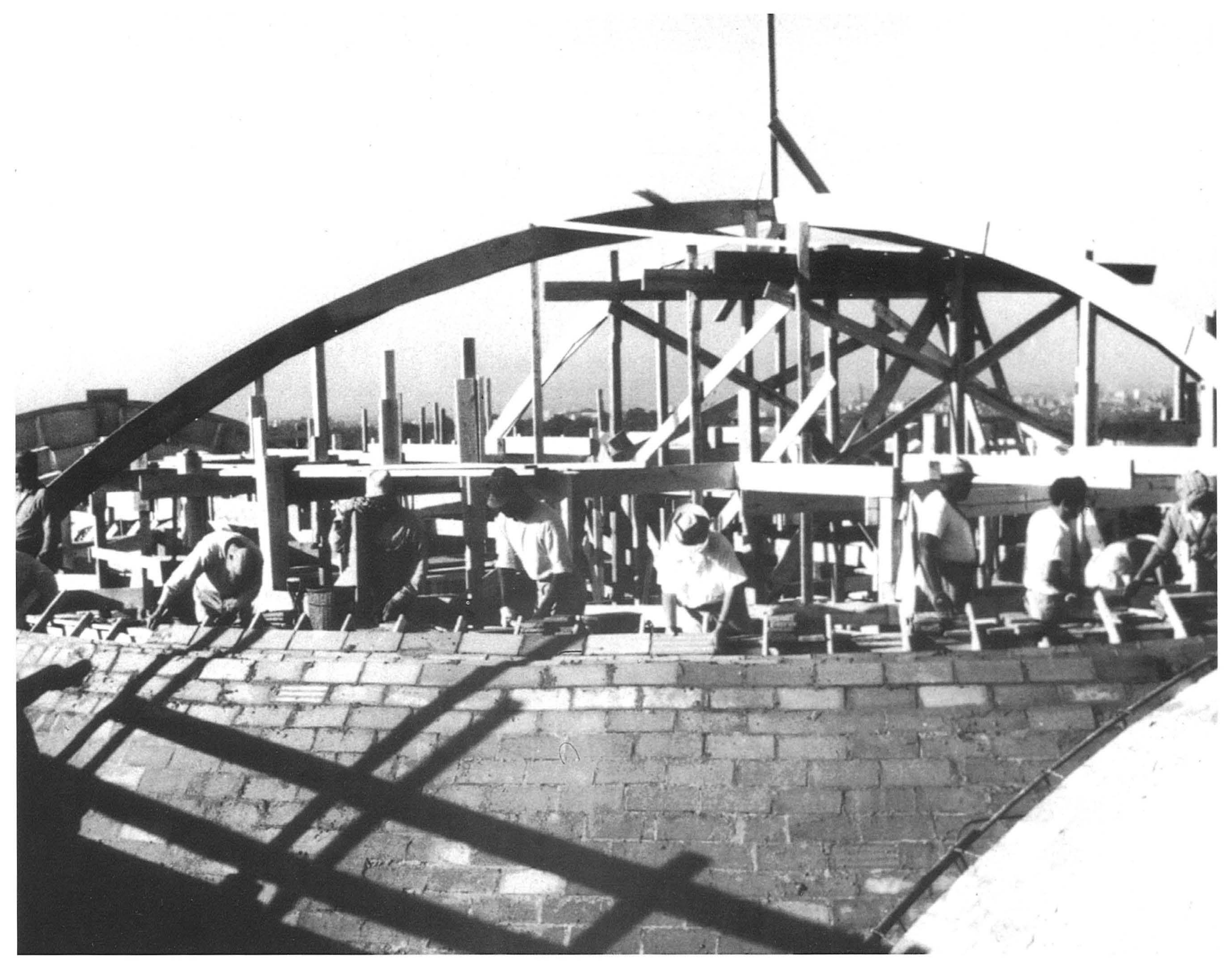


Lámina 22. National Shrine of Immmaculate Conception. Washington, Washington DC, 1920-1960 (Maginnis & Walsh). JO

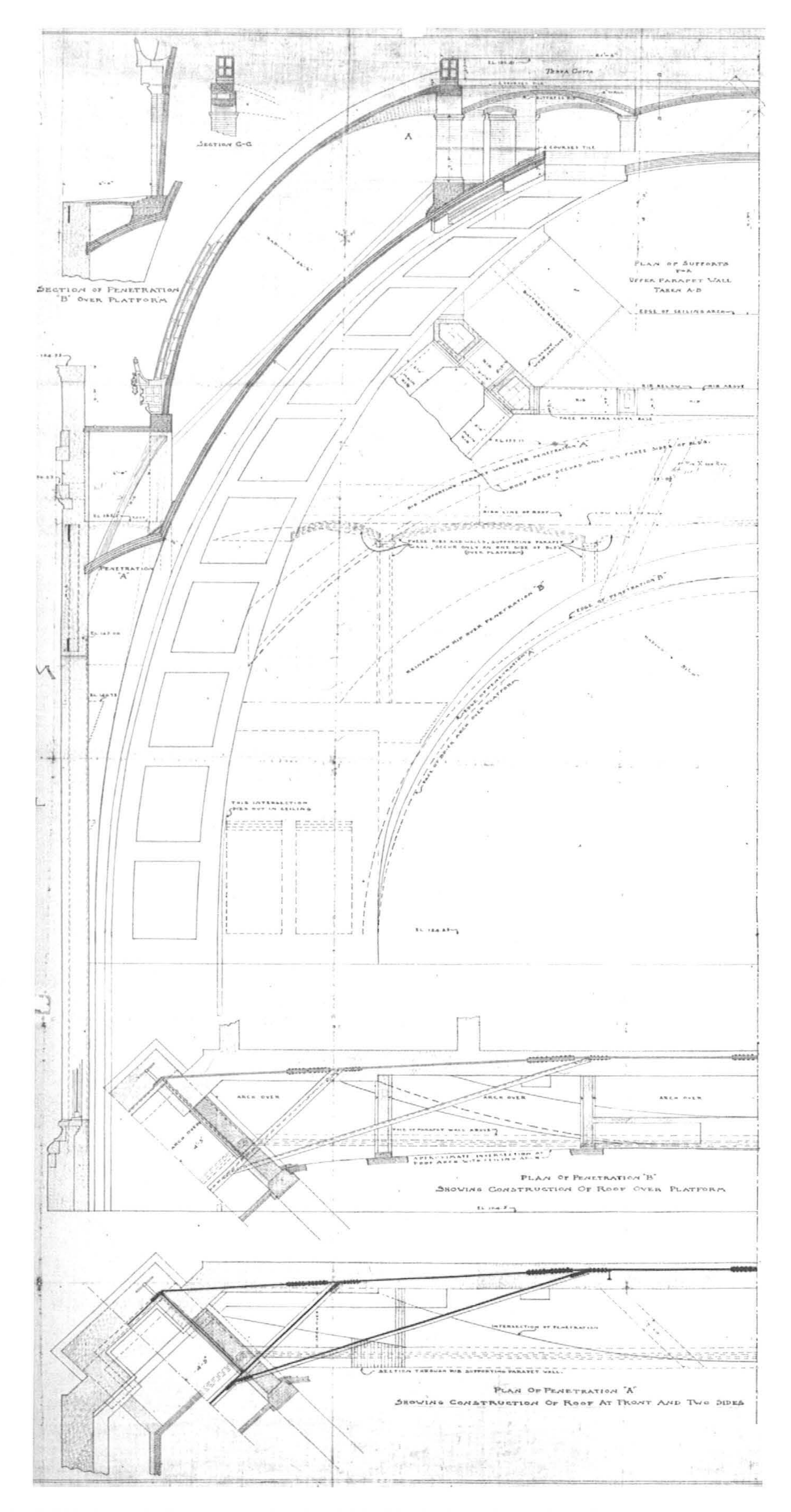


Lámina 23. Sinagoga Rodef Sholem, Pittsburg, Pennsylvania, 1906-1908 (Palmer & Hornbostel). AVL

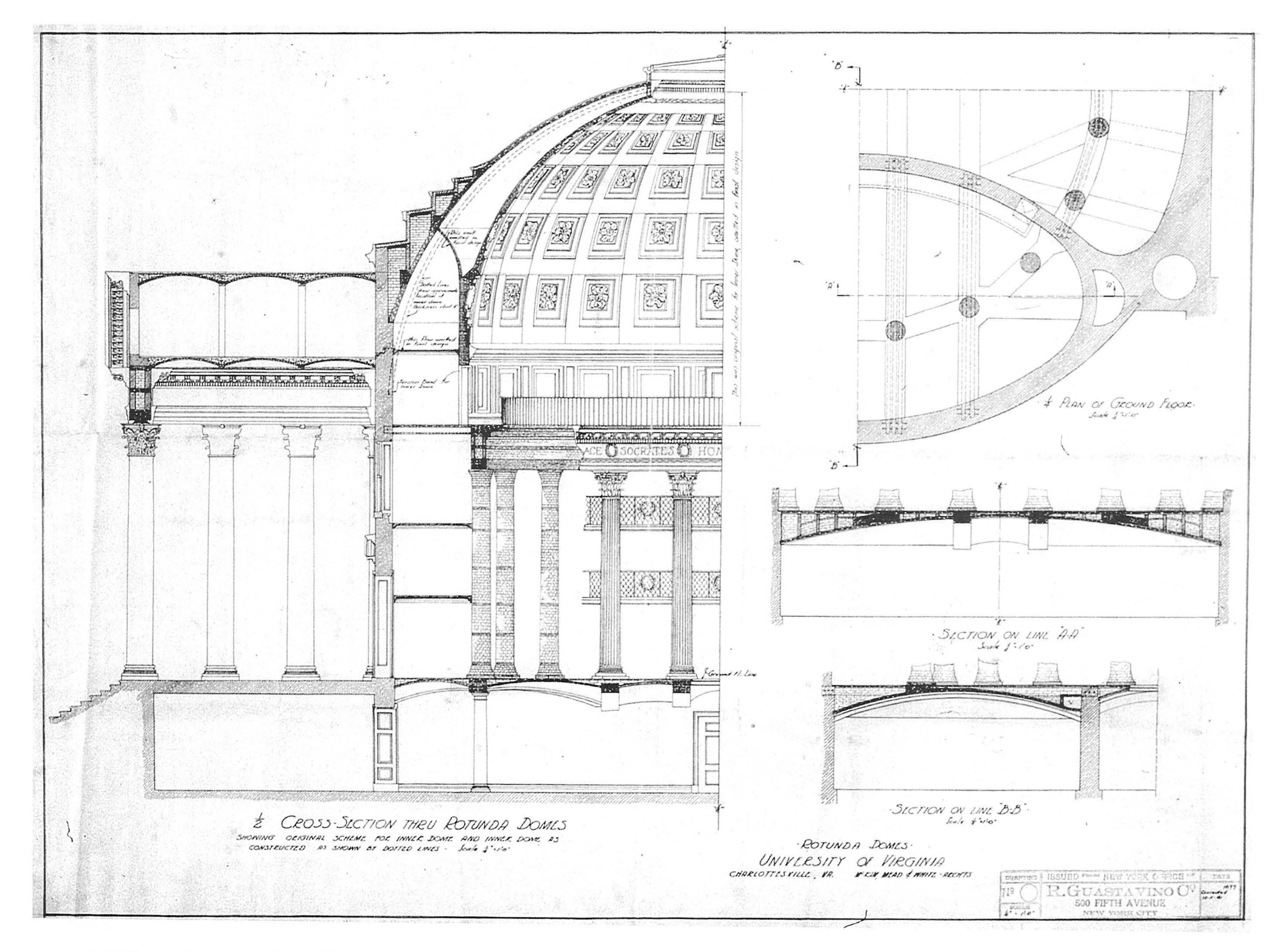


Lámina 24. Biblioteca de la Universidad de Virginia. Charlottesville, Virginia, 1897. (Mc Kim, Mead and White). AVL

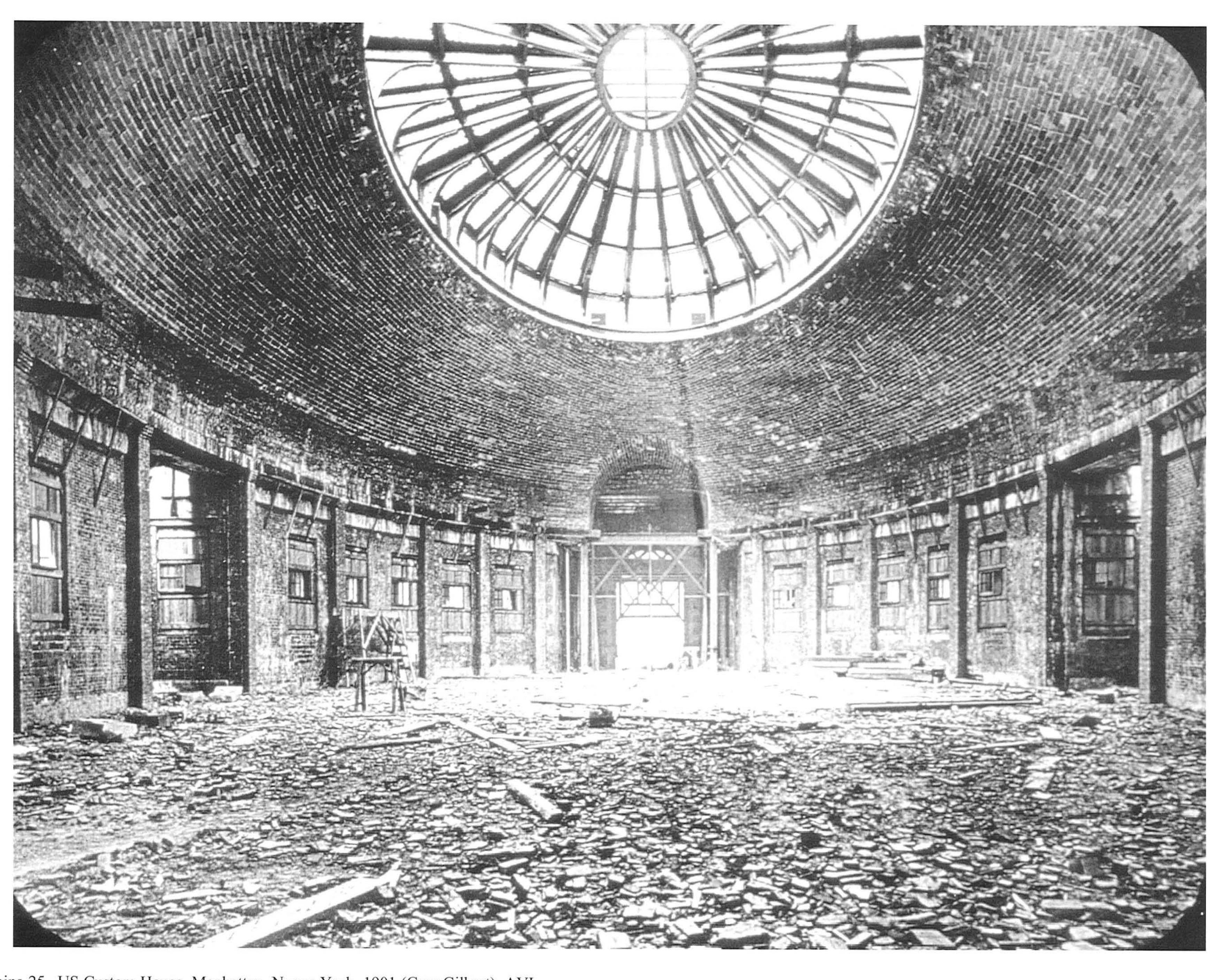


Lámina 25. US Custom House. Manhattan, Nueva York, 1901 (Cass Gilbert). AVL

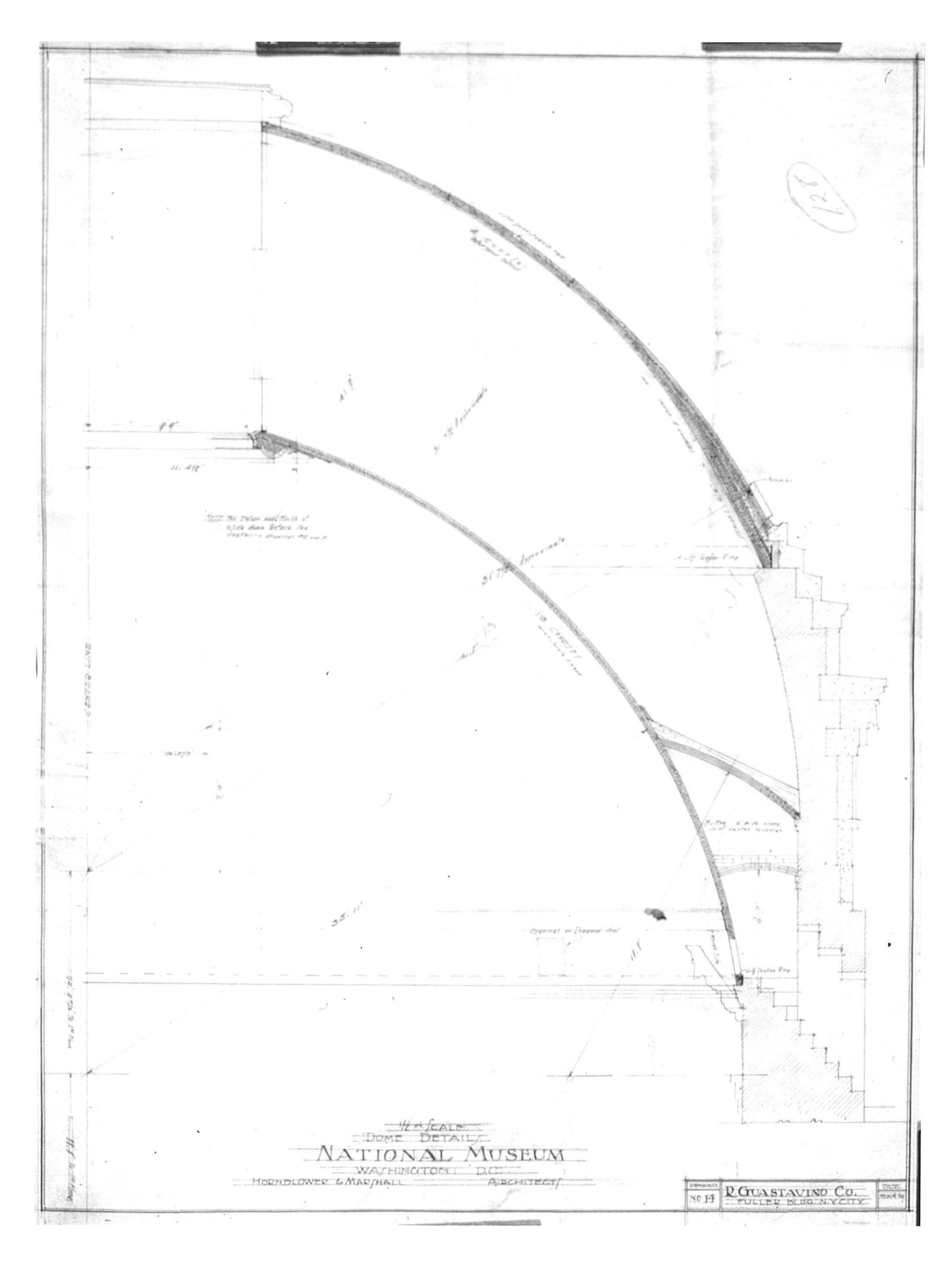


Lámina 26. National Museum. Washington, Washington DC, 1906 (Hornblower & Marshall). AVL



Lámina 27. National Museum. Washington, Washington DC, 1906 (Hornblower & Marshall). AVL

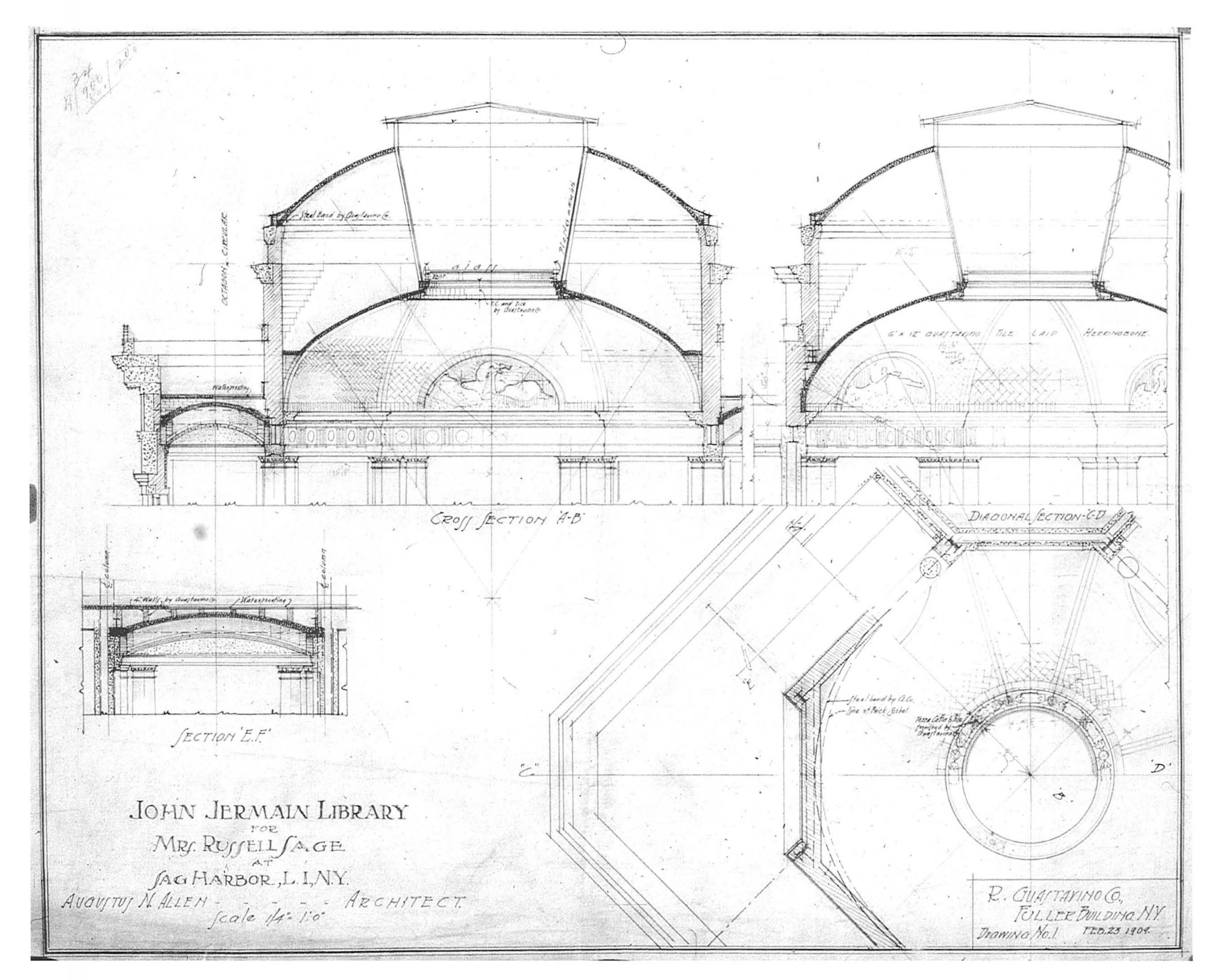


Lámina 28. John Jermain Library, Sag Harbor, Nueva York, 1909 (Augustus N. Allen). AVL

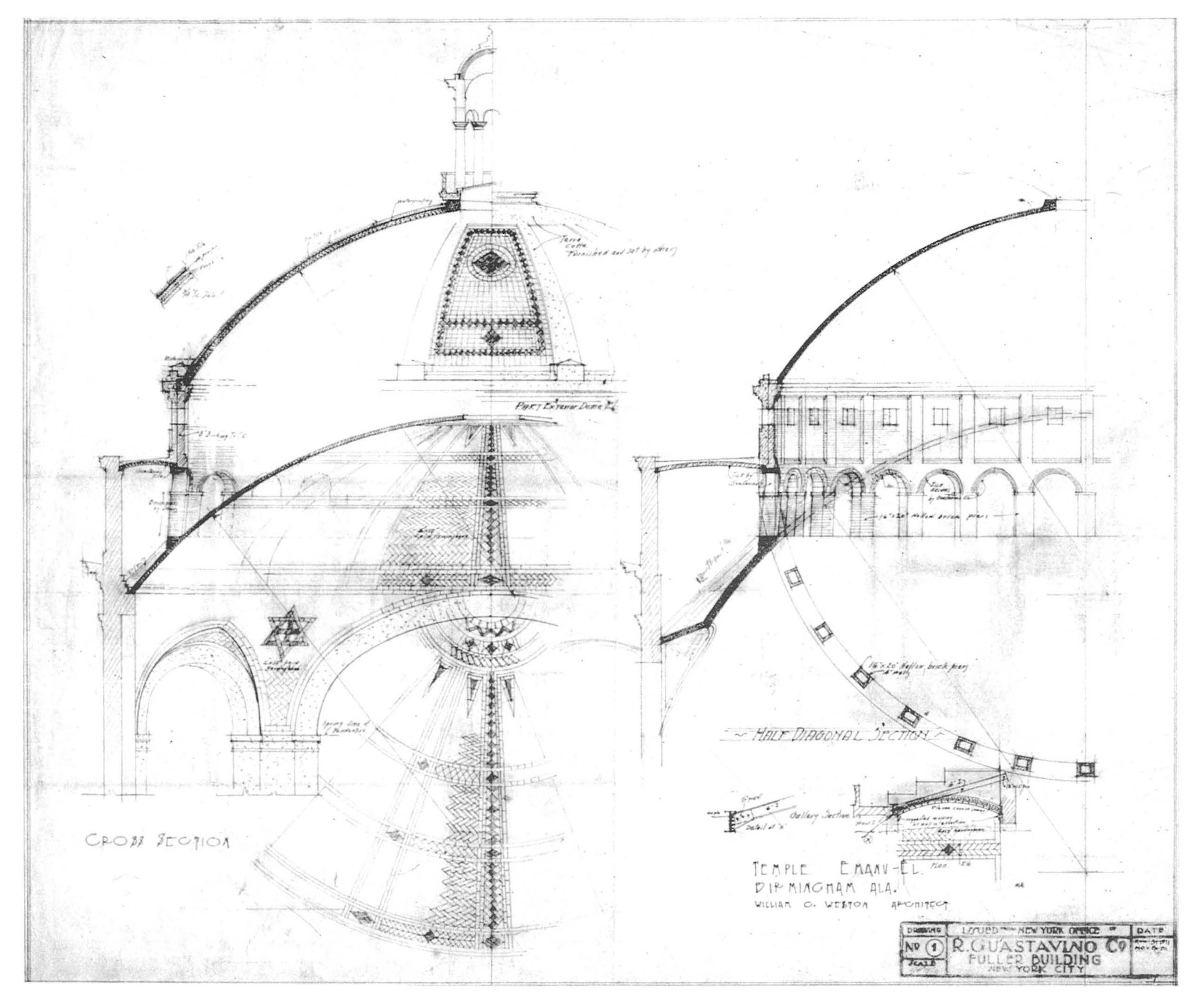


Lámina 29. Templo de Emanuel, Birmingham, Alabama, 1911 (William C. Weston). AVL

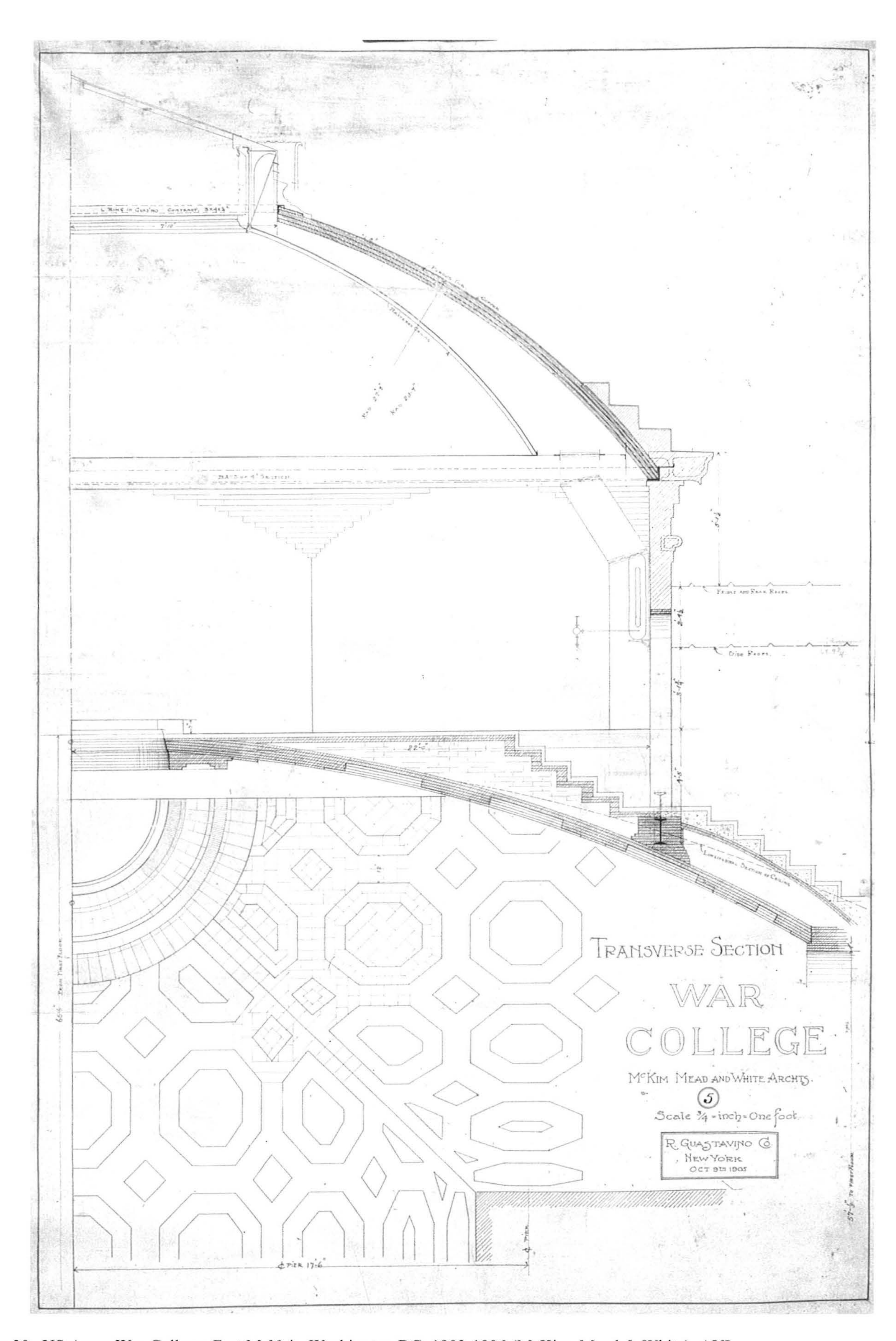


Lámina 30. US Army War College. Fort McNair, Washington DC, 1903-1906 (McKim, Mead & White). AVL

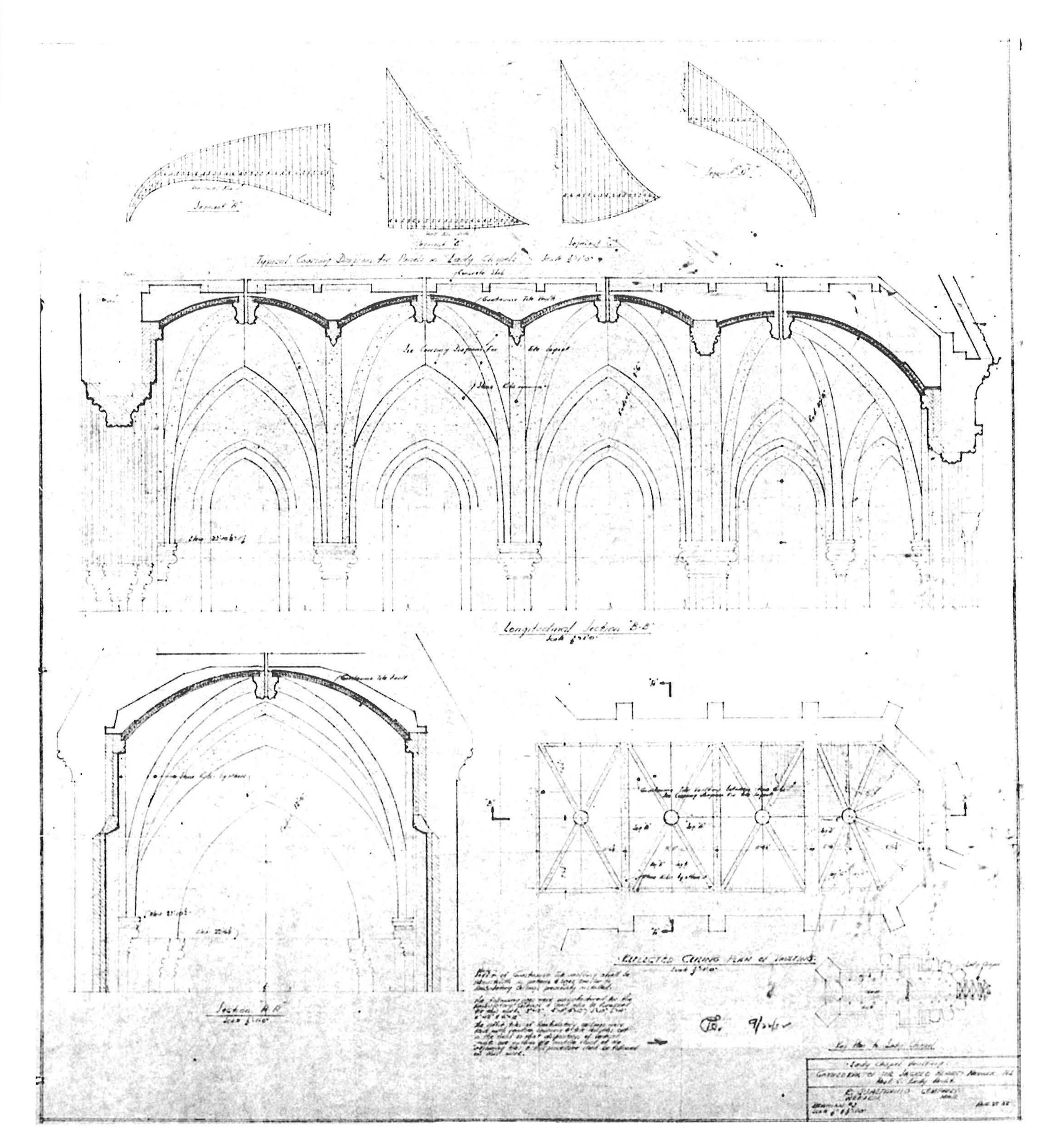


Lámina 31. Sacred Heart Cathedral, Newark, Nueva Jersey, 1924-1926 (I. E. Ditmars). AVL

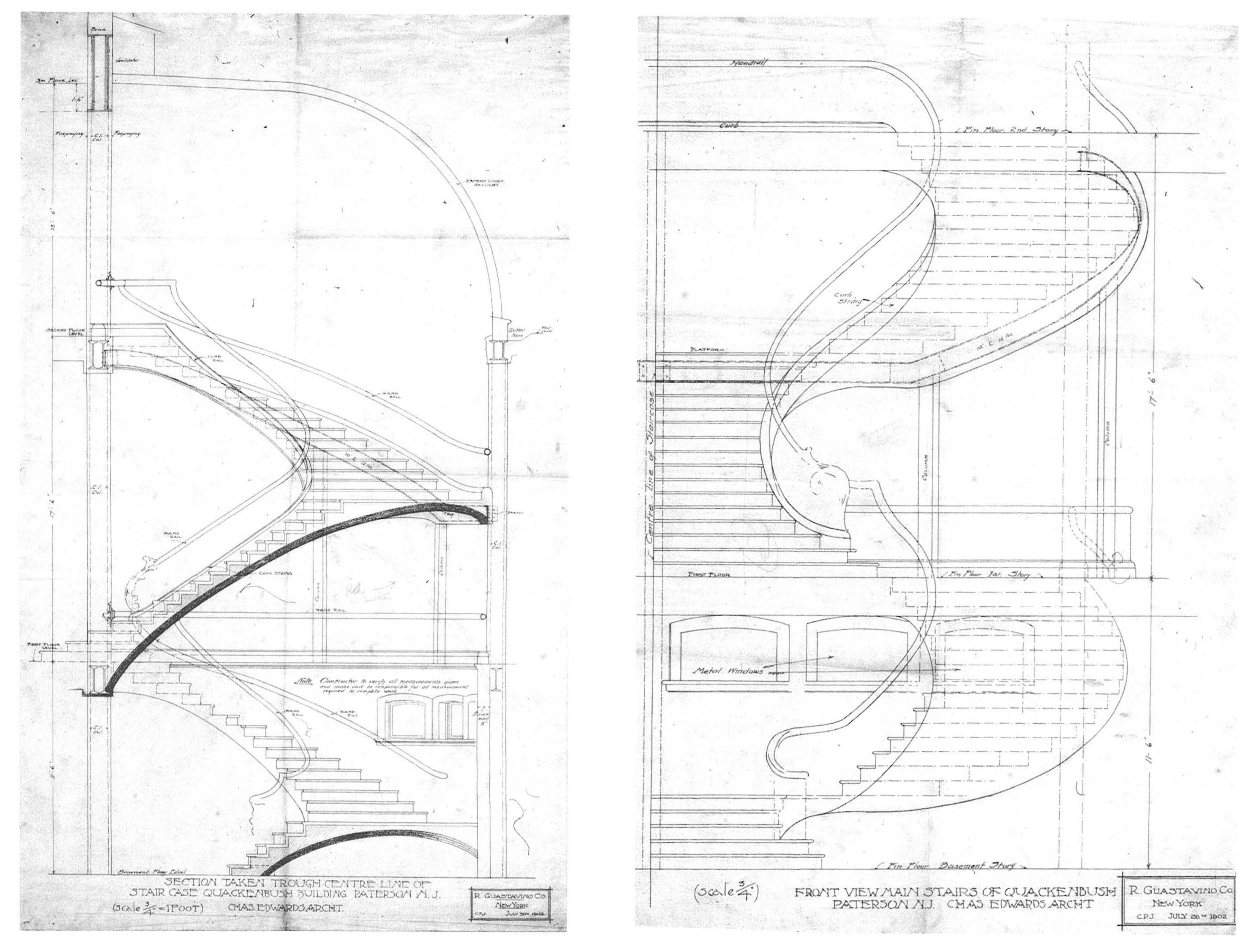


Lámina 32. Escalera en el Quackenbush Building. Paterson, Nueva Jersey, 1902 (Charles Edwards). AVL



Williamsburg (New York City) Bridge Approach.

Palmer & Hornbostel, Architects

White glazed corrugated tile soffit.

CONSTRUCTED BY

R. GUASTAVINO CO.

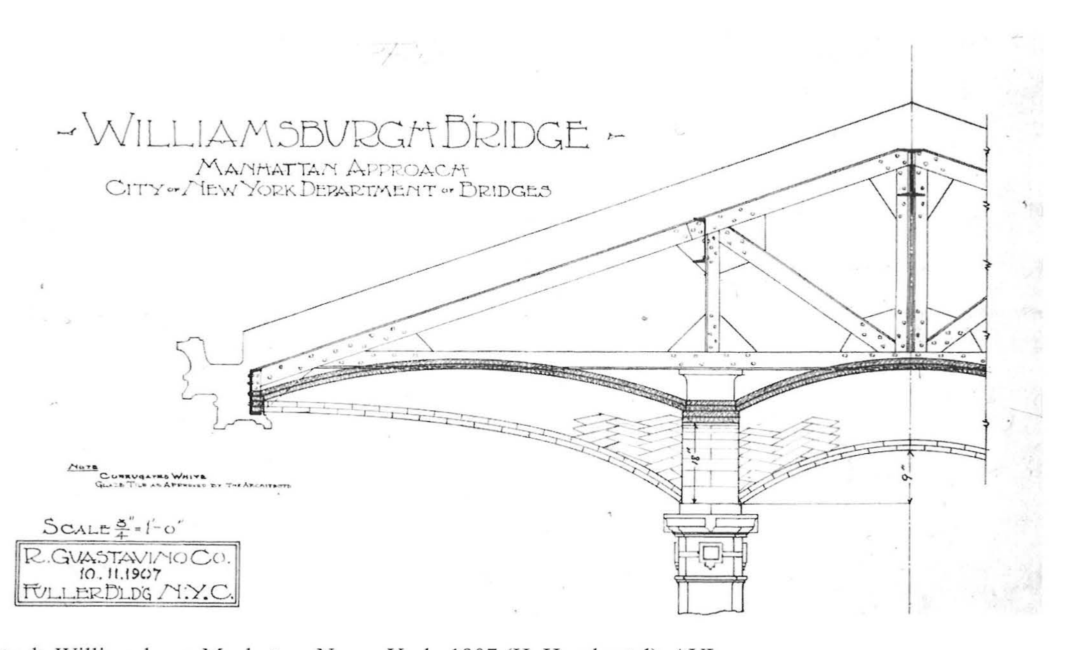


Lámina 33. Puente de Williamsburg. Manhattan, Nueva York, 1907 (H. Hornbostel). AVL

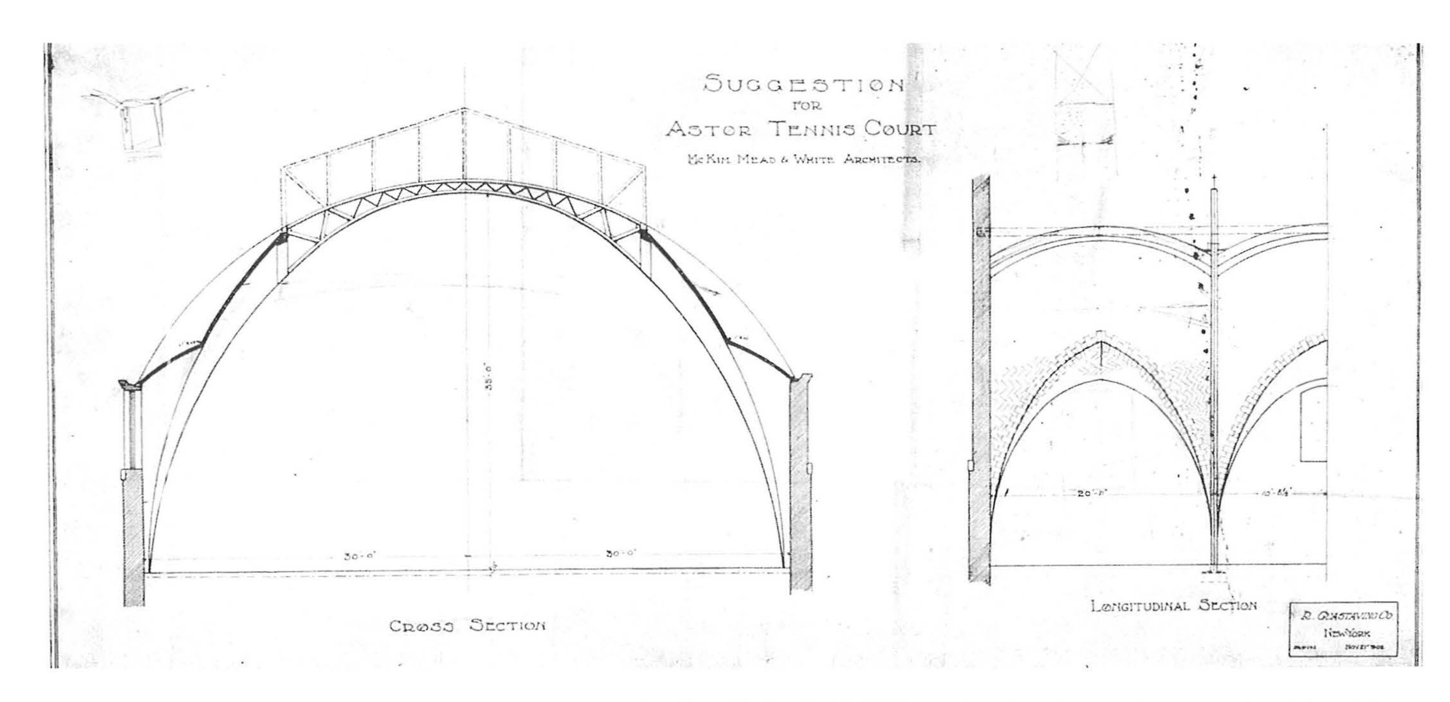
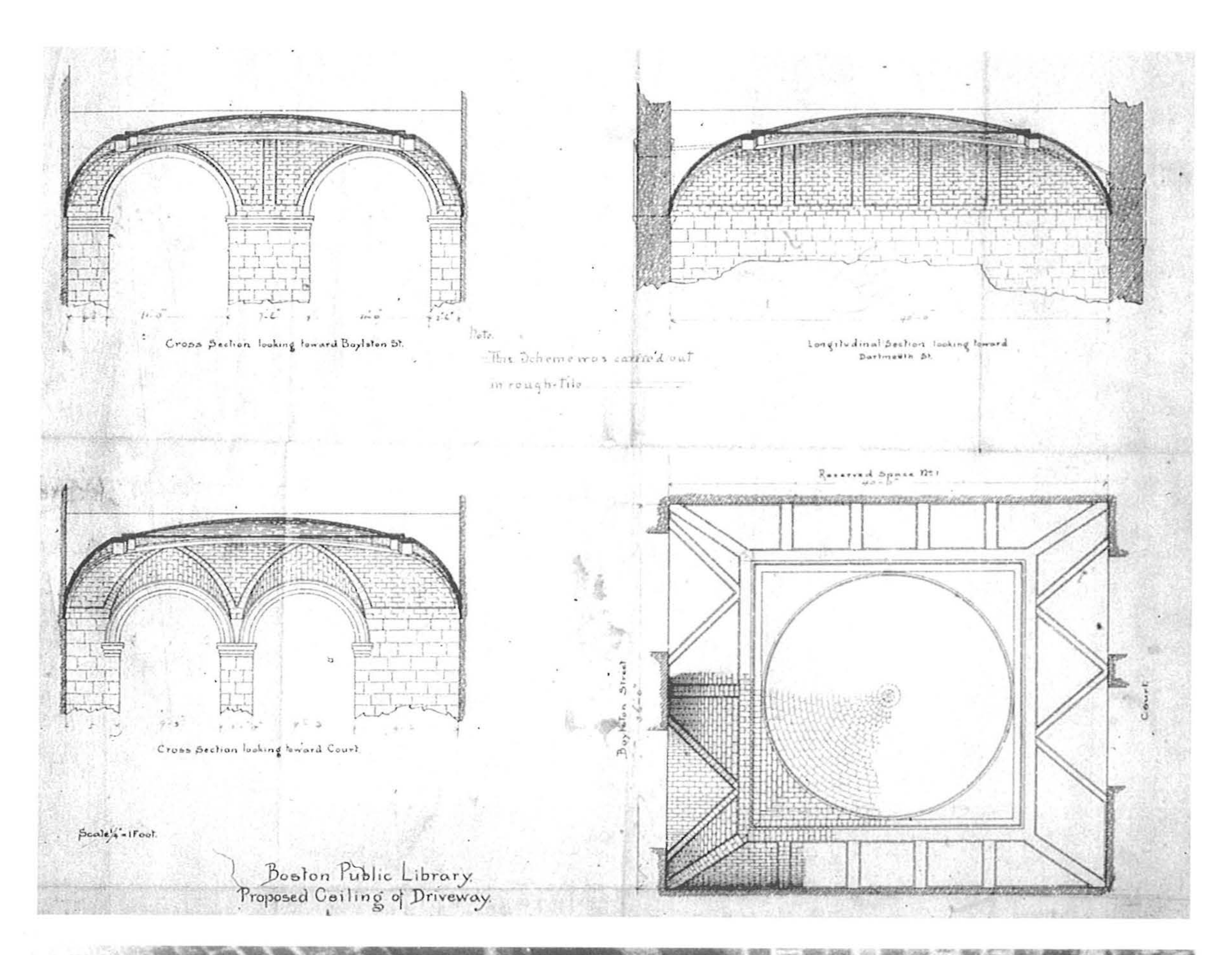


Lámina 34. Ferncliff, Astor Estate. Rhinebeck, Nueva York, 1904 (Eastern Bridge & Structural Company).AVL



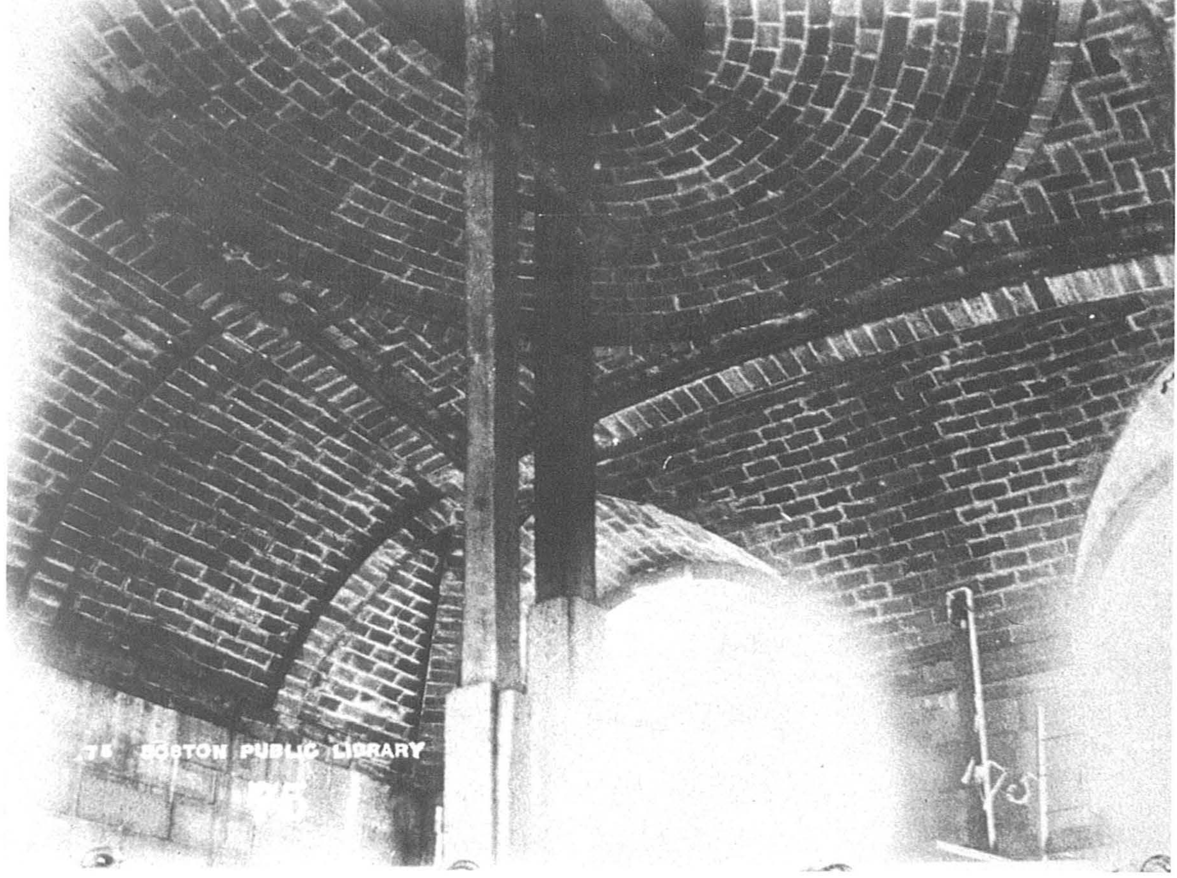


Lámina 35. Biblioteca pública de Boston. Boston, Massachussets, 1889-1890 (McKim, Mead & White). AVL

Lámina 36. Biblioteca pública de Boston. Construcción de una bóveda de cañon, con costillas laterales de refuerzo. AVL



Lámina 37. Catedral de St John the Divine. Manhattan, Nueva York, 1892-1932 (Heins&LaFarge, Cram&Ferguson). ST

Bibliografía seleccionada y comentada sobre Guastavino y la construcción tabicada

S. Huerta, G. López y E. Redondo

I. Fuentes primarias

PUBLICACIONES: LIBROS Y ARTÍCULOS

Guastavino Moreno, Rafael. *The Decorator and Furnisher* 1 (1882-1883): 44, 45, 75, 107, 139.

Mobiliario y decoración de interiores en varios estilos.

Guastavino Moreno, Rafael. *The Decorator and Furnisher* 2 (1883): 16, 46, 85, 118, 156, 157, 162, 200.

Guastavino Moreno, Rafael. *The Decorator and Furnisher* 3 (1883): 61, 90.

Guastavino Moreno, Rafael. «The theory and history of cohesive construction», *The American Architect and Building News* 26, 724 (9 de noviembre de1889): 218–220, 225.

Texto de la primera de las dos conferencias pronunciadas en 1889 sobre la historia y teoría de la construcción cohesiva, que tuvo lugar en octubre en la Boston Society of Arts. Guastavino estaba en ese momento construyendo las bóvedas de la Boston Public Library de McKim, Mead and White y mencionando esta obra comenzaba su ponencia. El texto se divide en cuatro partes: 1. Parte histórica, desde la Antigüedad hasta el Renacimiento, donde pretendía demostrar el origen remoto de la construcción cohesiva; 2. Teoría y coeficientes de aplicación, que durante cinco años atrás él había estado intentando establecer; 3. Aplicaciones modernas y 4. Importancia artística o estética. Este artículo y el siguiente forman el núcleo de su libro *Essay on the history of cohesive construction*.

Guastavino Moreno, Rafael. «Cohesive construction. Applications, industrial sections», *The American Architect and Building News* 27, 739 (22 de febrero de 1890): 123–129; láms.

Texto de la segunda de las dos conferencias pronunciadas en 1889 sobre la historia y teoría de la construcción cohesiva, que tuvo lugar en el Thursday Club, de Boston, donde construía las bóvedas del Biblioteca Pública con McKim, Mead and White. En la primera parte del artículo Guastavino habla de su trayectoria profesional y sus primeras obras en España y Estados Unidos. Después, en la segunda parte de la aplicación del sistema cohesivo a talleres, fábricas, viviendas para obreros, colegios, etc., el más adecuado y económico según él para este tipo de estructuras. Incluye planos de edificios tipo.

Guastavino Moreno, Rafael. «Improving the healthfulness of industrial towns», *The American Architect and Building News* (22 de febrero de1890)

Sobre los planos de edificios y fábricas que Guastavino envió a la Philadelphia Centennial Exposition de 1876.

Guastavino Moreno, Rafael. *Essay on the theory and history of cohesive construction, applied especially to the timbrel vault.* 2ª ed. Boston: Ticknor and Co., 1893 (1ª ed. 1892).

Libro fundamental que recoge las investigaciones de Guastavino sobre la construcción tabicada con varias partes dedicadas a la historia, teoría y aplicaciones del sistema. Incluye los resultados obtenidos en los ensayos realizados en Nueva York en años anteriores para medir la resistencia a compresión, tracción y cortante. Propone un método rápido para determinar el espesor variable de bóvedas y cúpulas, decreciente hacia la clave e incluye una tabla con los resultados para distintos casos en la parte final del libro.

Guastavino Moreno, Rafael. «Cohesive construction: its past, its present and its future», *The American Architect and Building News* 41, 922 (26 de agosto de1893): 125–129.

Versión impresa del texto de la ponencia presentada por Guastavino en el Congreso de Arquitectos celebrado durante la Exposición Universal de Chicago de 1893 (existe una versión impresa de forma privada con fecha de 5 de agosto de 1893 según Collins). Ya se había publicado el *Ensayo* y en el texto del artículo se insisten en las diferencias entre la construcción por gravedad y cohesiva, con numerosas referencias históricas. Habla del problema de los morteros ante situaciones climatológicas adversas y cita obras realizadas en Estados Unidos por él y otros arquitectos. Finaliza hablando de la importante aportación catalana al desarrollo de la construcción cohesiva.

Guastavino Moreno, Rafael. «The building of the Spanish government at the World's fair», *The American Architect and Building News,* 41, 916 (15 de noviembre 1893): 44–45; 1 lám.

Sobre el pabellón de España construido por Guastavino, que era una réplica reducida de la Lonja de Valencia.

Guastavino Moreno, Rafael. *Prolegomenos on the function of masonry in modern architectural structures.* New York: Record & Guide Press, 1896.

Primera parte. En los *Prolegómenos*, el autor reflexiona sobre la necesidad de la arquitectura americana de incorporar la mampostería o fábrica a sus edificios, al tiempo que analiza el panorama arquitectónico del momento en todo el mundo.

Guastavino Moreno, Rafael. *Spanish and Spanish-Mexican domes and architecture of 16th and 17th century.*1898. 1 lám., 41 fotos, 19 x 28 cm.

Álbum inédito de fotos tomadas por R. Guastavino en México.

Guastavino Moreno, Rafael. *The function of masonry in modern architectural structures.* Boston: America Printing Co., 1904.

Segunda parte del libro cuya primera parte comenzó a publicarse en 1896 bajo el título *Prolegomenos*. En esta parte se ocupa del estudio de los materiales y estilos de la construcción en fábrica en general.

Guastavino Moreno, Rafael. *Prolegomenos on the function of masonry in modern architectural structures.* New York: Record & Guide Press, 1896- 1904.

Edición completa de los libros publicados bajo el título de *Prolegomenos* y *The function of masonry*, publicados de forma separada en 1896 y 1904 respectivamente.

Guastavino Moreno, Rafael. *Función de la mampostería en las modernas construcciones arquitectónicas. 1. Prolegómenos a las funciones de la mampostería en las modernas construcciones arquitectónicas. 2. Funciones de la mampostería en las modernas construcciones arquitectónicas.* S.l., s.n., s.a.

Traducción al castellano de la obra de Guastavino que consta de dos partes de 30 y 63 páginas respectivamente, editadas por primera vez entre 1896 y 1904.

Guastavino Moreno, Rafael. «Function de la maçonnerie dans les constructions modernes», *Congrès international des architectes, Madrid, 1904.* Madrid: Imprenta de J. Sastre (1906): 337–360.

Ponencia presentada en francés en el Congreso Internacional de Arquitectos celebrado en Madrid en 1904. Trata de las ventajas de la construcción en fábrica frente a los materiales combustibles. Habla también de sus ensayos.

Guastavino Expósito, Rafael. «[Texto de una conferencia]». Mecanoscrito inédito, s.a. Guastavino Archives, Avery Library, Columbia University, New York.

Texto de una conferencia pronunciada por Guastavino hijo, en la que utiliza los textos de su padre acerca de la construcción cohesiva. La segunda parte describe algunas de las obras más importantes realizadas por la empresa hasta ese momento. El año no aparece en el texto, aunque Milkovich lo fecha en 1914.

Guastavino Expósito, Rafael. «[Artículo sobre el sistema Guastavino]». Mecanoscrito inédito, 1929. Guastavino Archives, Avery Library, Columbia University, New York.

El artículo fue enviado para ser corregido por el Prof. Crane, profesor asociado de Construcciones Arquitectónicas en la Sheffield Scientific School, Yale University, New Haven, Connecticut. Al parecer incluía ilustraciones, pero no se indica dónde iba a publicarse. Habla de la empresa Guastavino, la historia de la construcción tabicada y los principios en los que se basaba su sistema, incluyendo especificaciones para el constructor. Esta última parte reviste un considerable interés pues en ella se detallan los procedimientos constructivos empleados.

PATENTES

«Construction of fireproof buildings», US patent n 323.930, August 11, 1885.

Primera patente de Guastavino Moreno. Describe un tipo de partición vertical construido por superposición de capas de ladrillos puestos de plano, bien con juntas horizontales u oblicuas, en las que se preveían incluso los huecos para la colocación de instalaciones. Se insiste en la cohesión y monolitismo del sistema conseguido mediante el matado de las juntas.

«Fireproof building», US patent n 336.047, February 9, 1886.

Sobre la construcción de edificios incombustibles, concretamente las escaleras. Describe con detalle la construcción de un tramo de escalera tabicada.

«Construction of fireproof buildings», US patent n 336.048, February 9, 1886.

Descripción de un nuevo tipo de forjado compuesto por una bóveda de cañón tabicada con tirantes de acero, apoyada en muros laterales y con un relleno para nivelar el suelo. El tirante queda siempre revestido por piezas cerámicas para que no pierda su resistencia al fuego.

«Fireproof building», US patent n 383.050, May 15,1888.

Se describe un tipo de forjado, tabique o escalera basado en la construcción tabicada con bóvedas tabicadas de dos o más capas, que en el caso de los forjados estarían apoyadas en vigas metálicas y con la capa vista construida a base de piezas especiales ornamentales. Estas piezas, que se construyen en primer lugar y sobre ellas el resto de las capas de ladrillo, se fabricaban con piezas metálicas embebidas en los ladrillos que luego servían de anclaje entre todas las capas de la bóveda.

«Construction of tiled arches for ceilings, staircases», US patent n 430.122, June 17, 1890.

Describe una mejora del sistema tabicado consistente en la construcción de la primera capa con ladrillos machihembrados unidos con yeso sólo en la parte interior no visible de la junta. En el resto de las juntas entre las capas se emplearía mortero de cemento. Esto suponía una mejora resistente, y también desde el punto de vista del aislamiento de humedad, respecto a los tabicados que él considera tradicionales en la patente, construidos con yeso en todas las juntas entre ladrillos y capas, salvo en la última donde se empleaba mortero de cemento. Además la cantidad de yeso en el tipo propuesto debía ser reducida para que no rebosara en las juntas.

«Construction of Building», US patent n 464.562, December 8, 1891.

Sobre la construcción de bóvedas tabicadas, bien para forjados o para escaleras. Resalta que no son necesarias cimbras porque la primera capa funciona como tal y describe una bóveda con la primera capa construida a base de piezas cerámicas machihembradas que se toman con yeso en la junta de la cara superior y con cemento en la inferior. Sobre ella se superpondrían las demás capas tomadas con cemento.

«Cohesive ceiling-floor», US patent n 464.563, December 8, 1891.

Descripción de forjado construido a base de bóvedas tabicadas apoyadas en viguetas metálicas y con tirantes de acero atornillados a las mismas, protegidos por una pieza cerámica triangular. Sobre la bóveda se proponía la construcción de costillas sobre las que apoyar rastreles de madera como base del pavimento. En el espacio entre los tirantes y el pavimento podrían colocarse instalaciones.

«Cohesive ceiling-floor», US patent n 466.536, January 5, 1892.

Describe un sistema de protección contra el fuego de los elementos metálicos, vigas y tirantes, a base de elementos cerámicos

en un forjado de bóvedas tabicadas apoyadas en la estructura metálica.

«Construction of buildings», US patent n 468.296, February 2, 1892.

Describe la construcción de arcos o vigas a base de perfiles en I o chapas de acero anclados a los muros laterales de apoyo y embebidos en una sección de ladrillos dispuestos de plano en varias capas. La conexión del armado con el ladrillo se realizaría mediante piezas metálicas de anclaje. La función de este sistema también era la protección contra el fuego de los elementos metálicos.

«Construction of fire-proof buildings», US patent n 468.871, February 16, 1892.

Describe una bóveda construida a la romana. La primera capa de ladrillos machihembrados se construye con la ayuda de una pequeña cimbra que enseguida se retira. En las juntas superiores se coloca yeso y unas piezas metálicas que sirven de conectores entre esta capa y el hormigón que ha de verterse encima. Para luces grandes se reforzaría la primera capa con costillas de ladrillos superpuestos que servirían para el desplazamiento de los obreros sobre la bóveda durante el vertido del hormigón.

«Hollow cohesive arch», US patent n 471.173, March 22, 1892.

Descripción de un nuevo tipo de ladrillo para forjados, hueco y con bordes longitudinales machihembrados. Este tipo de ladrillo se utilizaría sobre la primera capa de ladrillos macizos, con aparejo en espina de pez, y habría una variante de mayor espesor a colocar en los arranques de la bóveda. (5 x 15 x 30 cm)

«Cohesive combined lintel-ceiling», US patent n 481.755, August 30, 1892.

Descripción de un forjado plano de vigas metálicas, con el entrevigado construido a base de piezas prismáticas huecas machihembradas de cierto canto y tomadas con cemento o yeso en la otra junta. Una capa de ladrillos colocados de plano refuerza la zona de compresión en una de las variantes. Esta capa a su vez podía ser plana o escalonada para dar una forma ligeramente arqueada a la capa superior del forjado.

«Building-tile», US patent n 548.160, October 15, 1895.

Descripción de ladrillo tipo, que se fabricarían agrupados en bloques prismáticos de planta romboidal. El bloque está compuesto por seis piezas, dos de forma romboidal (60 y 120) y cuatro con bordes machihembrados en el lado corto y biselados en el longitudinal. En obra un simple golpe las separaría para su colocación, los machihembrados en la primera capa de ladrillos, con yeso en la junta machihembrada y cemento en las demás. Las romboidales servían para hacer los encuentros con la pared en los aparejos en espina de pez. Las dimensiones de cada ladrillo eran 2,5 x 15 x 30 cm.

«Kiln for glazing tiles», US patent n 670.777, March 26,1901.

Descripción de un horno para la fabricación de piezas cerámicas.

«Structure of masonry and steel», US patent n 915.026, March 9, 1909.

Patente de un edificio tipo de estructura de fábrica y acero con una cúpula central que aloja un espacio único y una serie de edificaciones perimetrales de varias plantas.

«Masonry structure», US patent n 947.177, January 18, 1910.

Describe una variante de la construcción tabicada que consiste en la inserción de piezas metálicas, barras o pletinas en las capas de mortero de cemento existentes entre los ladrillos. Estos elementos tenían que ser corrugados para mejorar la adherencia con el mortero, que a su vez, los hacía incombustibles. El papel de estos elementos metálicos era, según Guastavino, absorber las tracciones que pudieran generarse y detallaba el sistema para el caso de una cúpula, una bóveda de cañón y una pared. En el caso de la cúpula las barras deben formar anillos en la base y si reciben una gran carga en la clave, también ésta debe zuncharse y colocar elementos metálicos en el plano de los meridianos. No se menciona el uso de yeso. Anticipa las cáscaras delgadas de hormigón armado de los años treinta.

«Masonry structure», US patent n 1.052.142, February 4, 1913.

Descripción de un tipo de construcción tabicada en la que sobre las capas de ladrillos se vierte una capa de hormigón o mortero de cemento. Además se propone la inserción de elementos metálicos entre las capas de ladrillo y en el hormigón, bien barras de acero corrugado enlazadas entre sí por barras diagonales, o cerchas. Otra variante es la inserción de perfiles en I. En todos los casos los elementos metálicos trabajan a compresión, salvo cuando por deformación la parte inferior trabaja a tracción.

«Masonry structure», US patent n 1.057.729, April 1, 1913.

Construcción tabicada abovedada armada, con dos capas de ladrillo en el intradós, una capa intermedia de piezas huecas y canto considerable en relación al espesor, más dos capas de ladrillo en el trasdós, donde se embeben piezas metálicas. Esta patente servía para mejorar tanto el aislamiento térmico como el acústico, así como reforzar la capacidad resistente de la zona comprimida.

«Wall and ceiling of auditorium and the like», US patent n 1.119.543, December 1, 1914.

Primera patente desarrollada por Rafael Guastavino, hijo y Sabine sobre un nuevo tipo de pieza cerámica que reducía la reverberación del sonido, la pieza Rumford. Sus propiedades procedían de la mezcla con la arcilla de tierra vegetal que al quemarse producía una estructura porosa.

«Sound-absorbing material for walls and ceilings», US patent n 1.197.956, September 12, 1916.

Nuevo tipo de pieza cerámica acústica, Akoustolith, con base de cemento Portland y estructura porosa obtenida empleando una arena de granulometría uniforme donde se eliminaban los granos más finos que rellenan normalmente los huecos.

«Acoustical facing material for interiors», US patent n 1.440.073, December 26, 1922.

Descripción de un nuevo material acústico destinado a revestimiento interior principalmente, con detalles constructivos y de anclaje de las piezas a los muros.

«Sound-absorbing plaster and method of applying same», US patent n 1.563.846, December 1, 1925.

Descripción de un yeso con propiedades acústicas a aplicar sobre el guarnecido y el enlucido habituales, así como el método para su colocación.

«Acoustical product», US patent n 1.917.112, July 4, 1933.

Descripción de un nuevo tipo de cerámica acústica, con su composición y características técnicas.

«Suspended ceiling structure», US patent n 2.143.980, January 17, 1939.

Descripción de un falso techo a base de piezas prefabricadas y acústicas suspendidas del forjado, con sus detalles constructivos.

«United States patents held by the Rafael Guastavinos, father and son», *APT (Association of Preservation Technology) Bulletin* 30, 4 (1999): 59–156.

Reproducción del texto y figuras de las patentes de la familia Guastavino.

DOCUMENTOS PRIVADOS Y CARTAS

«Partida de bautismo de don Rafael Guastavino Moreno», 2 de marzo de 1842, fol. 140, libro 18 de Bautismos, Parroquia de San Pedro de la Metropolitana Basílica de Valencia.

«[Certificación académica de las asignaturas cursadas por Rafael Guastavino Moreno en la Escuela de Ingenieros Industriales en el curso 1860-1861 pertenecientes al segundo año de la enseñanza elemental industrial: Elementos de física, química y mecánica. Calificación: sobresaliente] », 17 de febrero de 1871. Real Academia de Bellas Artes de Sant Jordi, Barcelona.

«[Certificación académica de haber aprobado Rafael Guastavino Moreno la asignatura de Historia Natural en el Colegio Peninsular]», 17 de febrero de1871. Real Academia de Bellas Artes de Sant Jordi, Barcelona.

«[Certificación académica de las asignaturas cursadas por Rafael Guastavino Moreno en la Universidad Literaria de Barcelona en el curso 1869-1870: complemento de álgebra, geometría y trigonometría rectilínea y esférica; geometría analítica de dos y tres, tensiones; cálculo diferencial e integral; geometría descriptiva y mecánica racional (libre). Calificación aprobado] », 17 de febrero de 1871. Real Academia de Bellas Artes de Sant Jordi, Barcelona.

«[Expediente académico en la Escuela de Arquitectura de Barcelona]», 1871. Escuela Técnica Superior de Arquitectura.

«[Solicitud de ingreso en la carrera de Arquitectura de Rafael Guastavino Moreno]», 23 de febrero de 1871. Real Academia de Bellas Artes de Sant Jordi, Barcelona.

«[Matrícula de Rafael Guastavino Moreno en la sección de Arquitectura de la Escuela Libre Politécnica Provincial de Barcelona, curso 1870-1871: Mecánica aplicada, topografía, estereotomía y dibujo de 1^er^ curso]», 3 de marzo de1871. Real Academia de Bellas Artes de Sant Jordi, Barcelona.

«[Solicitud de Rafael Guastavino Moreno para poder examinarse de las asignaturas del primer año de arquitectura]», 5 de junio de 1871. Real Academia de Bellas Artes de Sant Jordi, Barcelona.

«[Solicitud de certificado de Rafael Guastavino de haber aprobado en la Escuela Provincial de Bellas Artes varias asignaturas de la carrera profesional de Maestros de Obras]», 8 de mayo de 1872. Real Academia de Bellas Artes de Sant Jordi, Barcelona.

«[Certificado firmado por Andrés de Ferrán y de Dumont de haber aprobado Rafael Guastavino Moreno las asignaturas de Topografía y Geodesia (1862), Mecánica y Construcción (1863), Composición y Parte Legal (1864)]», 1872. Real Academia de Bellas Artes de Sant Jordi, Barcelona.

«[Examen final de Rafael Guastavino Moreno de la especialidad de Agrimensor perteneciente a la carrera de Maestro de Obras]». Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona.

«[Matrícula de Rafael Guastavino Moreno en las asignaturas del segundo año de la carrera de arquitectura en la Escuela Oficial Provincial de Arquitectura de Barcelona, curso 1875-1876: dibujo 2; construcción; teoría gen. del arte; química y mineralogía]», 18 de octubre de 1875. Real Academia de Bellas Artes de Sant Jordi, Barcelona.

Guastavino asegura haber aprobado el primer año de carrera y la asignatura de Copia de conjuntos.

«By-laws of R. Guastavino company». Mecanoscrito, 20 de abril de1897. Guastavino Archives, Avery Library, Columbia University, New York.

«Agreement Rafael Guastavino and Malcolm Blodgett, december 1942». Mecanoscrito, 1942. Guastavino Archives, Avery Library, Columbia University, New York.

Belmás, Mariano. «[Carta a Guastavino]», 1893. Guastavino Archives, Avery Library, Columbia University, New York.

Gottlieb, Albert S. «Letter of 20 May 1920 from architect Albert S. Gottlieb to the R. Guastavino Company». Guastavino Archives, Avery Library, Universidad de Columbia, New York.

Guastavino Moreno, Rafael. «[Carta manuscrita en inglés con fecha del 8 de diciembre de 1898]». Stanford White correspondence, Box 13. Guastavino Archives, Avery Library, Columbia University, New York.

Según Janet Parks en esta carta se aprecia la poca fluidez expresiva en inglés de Guastavino I.

Guastavino, G. «[Carta de Guillermo Guastavino a Rafael Guastavino sobre encuentro familiar en Madrid]». Mecanoscrito, 5 de marzo de 1958. Guastavino Archives, Avery Library, Columbia University, New York.

Guastavino, Pierre-Marie. «Les Guastavino. Une familie Gênoise et d´Oltregiogo». Archivo privado de Amparo Guastavino, Valencia.

Estudio inédito de la genealogía de la familia Guastavino.

Melville Swan, Clifford. «Letter of 1 August 1927 from Clifford Melville Swan to the R. Guastavino Company». Guastavino Archives, Avery Library, Columbia University, New York.

Sabine, W.C. «Letter of 24 August 1911 from Sabine to William E. Blodgett of the R. Guastavino company». Guastavino Archives, Avery Library, Columbia University, New York.

Sabine, W.C. «Letter of 27 June 1911 from Sabine to architect Albert Kahn». Guastavino Archives, Avery Library, Columbia University, New York.

Sabine, W.C. «Letter of 18 December 1912 from Sabine to architect Ralph Adams Cram». Guastavino Archives, Avery Library, Columbia University, New York.

Sabine, W.C. «Letter of 10 May 1916 from Sabine to Clifford Melville Swan».Guastavino Archives, Avery Library, Columbia University, New York.

II. Fuentes secundarias

Sobre Guastavino

«Guastavino» *Gran Enciclopedia Catalana* 8: 289–320.
Reseña biográfica de Rafael Guastavino Moreno, y Rafael Guastavino Expósito.

Anuario del centro de maestros de obras. Barcelona: 1876.
Exposición realizada por el Centro de Maestros de Obra de Barcelona (1876) en la cual participó Guastavino.

Exposición internacional en Filadelfia de 1876: Comisión general española. Lista de expositores ordenada con arreglo a la clasificación de la Comisión centenaria. Madrid: Imp. de T. Fortanet, 1876.
Guastavino aparece mencionado en el Departamento IV de Arte. Dibujos industriales y de arquitectura, modelos y decoraciones, pp. 115–116, 293.

Expositores de España y sus provincias de Ultramar recompensados en la Exposición de Filadelfia en 1876. Barcelona: Est. Tip. de Narciso Ramírez, 1877.
Guastavino premiado y razones. Tribunal y premio (diploma, medalla de bronce e informe), p. 58.

«La Exposición», *Barcelona* 2, 60 (29 de octubre de1888): 113.
Sobre la casa Casademunt en Barcelona.

Exposición Universal de Barcelona. Catálogo General Oficial. Barcelona: Imp. N. Ramírez, 1888.
Sobre la casa Casademunt en Barcelona, p. 209.

«A new system of fireproof construction», *Engineering News* 22 (9 de noviembre de 1889): 434–435.
Boston Public Library, impacto sobre una de las bóvedas que se mantuvo en pie.

«An example of tile vaulting built for the Mount Sinai dispensary», *The American Architect and Building News*, 31, 793 (7 de marzo de 1891).

«Guastavino fireproof construction Co.», *The American Architect and Building News* (7 de marzo de1891).
Sobre el Mt. Sinai Hospital, New York .

«Buildings completed or in process of construction, in which the Guastavino fireproof construction company or R. Guastavino has obtained contracts, and put in fireproofing», *The American Architect and Building News* 31 (7 de marzo de1891): pl. 793.
Sobre el Mt. Sinai Hospital, New York .

Dedicatory and opening ceremonies of the World's Columbian Exposition. Chicago: Stone Kastler and Painte, 1893.
Sobre el pabellón de España construido por Guastavino en la Exposición Universal de Chicago.

«The Boston Public Library», *The American Architect and Building News* 48, 1006 (6 de abril de 1895):3.
Sobre la Biblioteca Pública de Boston.

The Brickbuilder 6 (1897): 75.
Sobre un ensayo de resistencia mecánica y al fuego de una bóveda tabicada realizado por Guastavino en Nueva York. Collins reproduce el texto en una de las notas de su artículo The transfer of thin masonry vaulting from Spain to America.» Ver los informes técnicos originales firmados por Constable (1897).

«Fireproofing tests», *The American Architect and Building News* 56, 1115 (8 de mayo de1897): 45–46.
Sobre el mismo ensayo .

The Engineering Record 36 (9 de octubre de 1897): 403-404.
Sobre el mismo ensayo.

«New Year's calendars and catalogues», *The Brickbuilder* 6, 1 (enero de1897):19.
Noticia sobre el envío de un calendario de la empresa Guastavino a la revista con detalles constructivos.

Exposition´s commissioners. *A history of the World's Columbian Exposition*. New York : Rossiter Johnson, 1897-1898.
Sobre el pabellón de España construido por Guastavino en la Exposición Universal de Chicago en 1893.

«Valencianos sobresalientes. Nuestros arquitectos: Rafael Guastavino», *Las Provincias* 33, 11.713 (20 de septiembre de1898).

The American Architect and Building News 60, 1166 (30 de abril de1898): 33.
Se atribuye a Guastavino el proyecto de una casa para Güell. Al mismo tiempo se alaban sus investigaciones y su beneficiosa influencia en la arquitectura de los Estados Unidos. Es más se le considera entre los que estaban revolucionando el arte de la construcción.

«Letter to the Hon. James G. Wallace, President of the Board of Buildings», 5 de junio de 1901. Guastavino Archives, Avery Library, Columbia University, New York.
Ensayos de carga. Datos sobre los resultados obtenidos.

«Two interesting examples of fireproof construction», *The Brickbuilder* (1905): 36 ss.

The American Architect and Building News 90 (8 de septiembre de 1906): 77.

«Rodef Sholem synagogue, Pittsburgh, Pa», *The Brickbuilder* 16, 3 (1907): láms. 33–35.

«Temple Adath Israel, Boston», *The Brickbuilder* 16, 3 (1907): láms. 47–48.

«Temple Israel, Lenox Avenue, New York», *The Brickbuilder* 16, 3 (1907): lám. 46.

«War College and Engineer Post, Washington D.C.», *The Brickbuilder* 16, 6 (1907): láms. 88–89, 93–94.

«Rafael Guastavino obituary», *New York Times* (3 de febrero de 1908): 9.

«The small-scale model in architecture», *The American Architect* 95, 1736 (1909): 105–108.
Una maqueta de baños públicos y gimnasio en Nueva York. Werner & Windolph. La maqueta permite apreciar la audacia de las bóvedas de Guastavino.

«Erecting a large dome without falsework», *The Engineering Record* 60, 19 (6 de Noviembre de 1909): 508–510.
Sobre la cúpula de St. John the Divine, Nueva York. Descripción detallada de la cúpula tabicada que se construyó sobre el crucero con carácter temporal. Dimensiones y espesores; método de replanteo geométrico de la curvatura de la cúpula.

«America´s largest dome erected without scaffolding or falsework support», *Scientific American* (30 de Octubre de 1909): 277.
Sobre la cúpula de St. John the Divine, Nueva York

«First presbyterian church, Chattanooga, Tennesee», *The Brickbuilder* 18, 5 (1909): láms. 64–65.

«Railway station at Waterbury, Connecticut», *The Brickbuilder* 18, 9 (1909): láms. 119–123.

«Disaster defied on the cathedral dome», *N.Y. Herald* (19 de septiembre de 1909).

Sobre la cúpula de St. John the Divine, Nueva York

«Illustrations. Reconstruction of the church of St. Vincent Ferrer», *The American Architect* 96, 1757 (1909): 76.

«The New York improvement and tunnel extension of the Pennsylvania railroad», *The American Architect* 98, 1815 (5 de Octubre de 1910): 113–120.

«The dome of the cathedral of St. John the Divine», *International Studio* 40 (1910): 14–15.

«America's largest dome erected without scaffolding or falsework support two hundred feet above the ground», *Architecture* 21 (1910): 12–13.

Imágenes del proceso constructivo de St. John the Divine y breve comentario acerca de sus características.

«The chapel of the United States Military Academy», *The American Architect* 98, 1813 (1910): 98–99.

«Hudson City Savings Institution, Hudson city, N.Y.», *The American Architect* 97, 1793 (1910).

«Pennsylvania railway station», *The Brickbuilder* 19, 4 (1910): 64–65.

«Second church of Christ Scientist, Los Angeles, California», *The Brickbuilder* 19, 4 (1910): láms. 49–50.

The N.Y. Architect (5 de abril de 1911).

Número dedicado a la cúpula de St. John the Divine, Nueva York

Bulletin of the Brooklyn Institute of Arts & Sciences (1911): 343.

Sobre la cúpula de St. John the Divine, Nueva York

«The cathedral church of St. John the Divine. Heins & La Farge, architects», *The American Architect* 99, 1843 (abril de 1911): 144–152.

«Presbyterian church at Chattanooga, Tennessee», *The Brickbuilder* 20, 6 (1911): láms. 80 ss.

«A public bath and gymnasium in the city of New York», *The American Architect* 101, 1899 (1912): 226.

Visita de S. M. el rey D. Alfonso XIII a los terrenos y edificios donde ha de instalarse la Universidad Industrial de Barcelona. Barcelona : Imp. Sucesor F. Sánchez, s.a.

Sobre la fábrica Batlló o Escuela Industrial de Barcelona. Fotografías.

Escuela Industrial de Barcelona. Sección de industrias textiles. Laboratorio de Estudios Superiores de Química. Curso de 1912 a 1913. Barcelona: Imp. Tasis Tallers, 1912-1913.

Sobre la fábrica Batlló o Escuela Industrial de Barcelona. Fotografías.

«Els edificis de les nostres escoles», *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña* (1913): 101–127.

Gaudí escuela de la Sagrada Familia y Guastavino, fábrica Batlló

«The Euclid Avenue Temple, Cleveland, Ohio», *The Brickbuilder* 22, 9 (1913): láms. 129–130.

«St. Patrick's church. Philadelphia, Pa.», *The Brickbuilder* 22, 3 (1913): láms. 37–40.

«House at Hartford, Conn.», *The Brickbuilder* 22, 9 (1913): lám. 142.

«The new St. Thomas's church, Fifth Avenue, New York City», *The Brickbuilder* (1914): 15–20.

The Architectural Forum (septiembre de 1917).

«William E. Blodgett Woburn Mayor, 1907-1908», *Woburn Daily Times* (26 de mayo de 1931).

«Rafael Guastavino [son] obituary», *New York Times* (20 de octubre de 1950): 27.

«Columbia given old building art. Gift to preserve an old tile craft», *The New York Times* (15 de junio de 1963).

Sobre la adquisición para la Universidad de Columbia de los archivos de la empresa Guastavino realizada por Collins.

Condition of the Guastavino dome, National War College, Fort McNair, Washington, D.C. Washington D.C. : Universal Restoration, 1974.

Guastavino shell analysis briefing. Washington D.C.: James Madison Cutts, [inc.], 1977.

Planos y diagramas de Guastavino, modelos matemáticos para el análisis de las cáscaras, planos de arquitectura y tablas manuales para el cálculo de tensiones.

«Hardy Holzman Pfeiffer Associates plan restoration of markets under Manhattan's Queensborough bridge; original archts (1900): Raphael Guastavino & Sons, archts for restoration: Hardy Holzman Pfeiffer Assocs, with plaza & greenhouse by: Robert Zion», *Architectural Record* 162, 5 (octubre de1977): 39.

Repair and reinforcement [of] Guastavino tile shells, National War College, Fort Lesley J. McNair, Washington, D.C.: preliminary report. Washington D.C. : McGaughan & Johnson, 1980.

«St. Paul's Chapel: The first 75 years», *The Earl Hall Report* 4, 2 (22 de noviembre de 1982): 1–3.

«La fábrica Asland, de Castellar de n'Hug», *Patrimoni de Catalunya* 41, 21 (enero-febrero de 1990).

Vilassar de Dalt: visita de la Comissió de Defensa del Patrimoni Arquitectónic, Demarcació de Barcelona del Collegi d'Arquitectes de Catalunya, 16 de julio del 1994. Barcelona: El Collegi, 1994.

Sobre el teatro construido por Guastavino en 1880-1881.

«Fire wrecks the Oyster bar, tiled oasis at Grand Central», *The New York Times* (30 de junio de 1997).

APT (Association of Preservation Technology) Bulletin 30, 4 (1999).

Número monográfico sobre la obra de Guastavino.

Agramunt Lacruz, Francisco. *El arte valenciano en América: exiliados y emigrados.* Valencia: Generalitat Valenciana. Consell Valenció de Cultura, 1992.

Agramunt Lacruz, Francisco. «La definitiva recuperación de Rafael Guastavino Moreno. El arquitecto valenciano de mayor proyección internacional del siglo XIX», *Archivo de Arte Valenciano* 78 (1997): 38–52.

Agramunt Lacruz, Francisco. «La definitiva recuperación de Rafael Guastavino Moreno. El arquitecto valenciano de mayor proyección internacional del siglo XIX», *Boletín del Museo e Instituto «Camon Aznar»* 74 (1998): 5–31.

Allen, Harbison & Associates, architects. «Restorations, renovations and modifications to the church of the Heavenly Rest. Report», 3 de junio de 1992. Inédito.

Allen, Harbison & Associates, architects. «Renovations to the church of the Heavenly Rest. Section 09855», 6 de septiembre de 1995. Inédito.

Austin, Peter. «Rafael Guastavino's construction business in the United States: Beginnings and development», *APT (Association of Preservation Technology) Bulletin* 30, 4 (1999): 15–19.

Barkhausen, Georg. «Balkendecken». En *Handbuch der Architektur,* de J. Durm, 3ª parte, 2, 3a, 82–97. Stuttgart: Arnold Bergströsser, 1901.

Interesante la mención al trabajo del arquitecto Guastavino en Nueva York que aparece recogido en este manual de la época, concretamente el empleo de bóvedas tabicadas en forjados. Collins menciona la edición de Darmstadt, 1895.

Bassegoda Nonell, Juan. «Una chimenea que hace historia cuando la industria se une al arte». Mecanoscrito inédito. Cátedra Gaudí, Barcelona.

Bassegoda Nonell, Juan. *Los maestros de obras de Barcelona.* 2ª ed. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, 1973.

Sobre una exposición realizada en el Centro de Maestros de Obras de Barcelona (1876)

Bassegoda Nonell, Juan. «El bicentenario de los Estados Unidos de Norteamérica», *La Vanguardia Española,* Barcelona (9 de julio de 1976): 61.

Sobre la exposición de Filadelfia

Bassegoda Nonell, Juan. «La fábrica de cemento del Clot del Moro», *La Vanguardia* (3 de febrero de 1982): 26.

Bassegoda Nonell, Juan. «San Juan el Divino en Nueva York», *La Vanguardia* (28 de agosto de 1991).

Bassegoda Nonell, Juan. «Els Guastavino a América», *Jornades d'Estudi Catalano-Americanes.* Mecanoscrito inédito, 1993. Cátedra Gaudí, Barcelona.

Bassegoda Nonell, Juan. «Els estudis de Guastavino», *Temple* (setiembre-octubre de 1993).

Breve reseña sobre los estudios y expediente académico de Guastavino Moreno.

Bassegoda Nonell, Juan. «El monumento a los héroes de África». En *Miscellània Bassegótica,* 21. Barcelona: Cátedra Gaudí, 2000.

Sobre el proyecto de Guastavino para un Monumento a los héroes de África en Barcelona.

Baxter, S. *Spanish colonial architecture in Mexico.* Boston: 1901.

Breve mención en la p. 10 a Guastavino como una de las influencias de la arquitectura española en el arte de los Estados Unidos por la introducción de las bóvedas tabicadas y su adaptación a la construcción moderna.

Blodgett, Malcolm. «A brief corporate history of «Guastavino»». Mecanoscrito inédito, 30 de noviembre de 1953. Guastavino Archives, Avery Library, Columbia University, New York.

Interesante resumen de la historia de la empresa Guastavino por el hijo del primer socio de Guastavino Moreno, William E.Blodgett, que quedó como único dueño de la empresa en 1942.

Blodgett, Malcolm. «Memorandum of discussions with R. Guastavino». Mecanoscrito inédito, s.a. Guastavino Archives, Avery Library, Columbia University, New York.

Sobre la retirada de Rafael Guastavino de la empresa en 1942.

Blodgett, William E. *Autobiography of William E. Blodgett of Woburn, Mass.* Boston: Guild, 1938.

Ofrece datos de alto interés sobre la biografía de Guastavino y la empresa que fundó con William E. Blodgett.

Bragdon, Claude. «The New York central railway station at Rochester, New York», *The Brickbuilder* 22, 12 (1913): 263–266.

Breiner, David M. «Warren & Wetmore, architects: R. Guastavino Company, vault construction: Rookwood pottery company, architectural terracotta: [report]». New York: Landmarks Preservation Commission,1994.

Bueno Fidel, María José. *Arquitectura y nacionalismo: Pabellones españoles en las exposiciones universales del siglo XIX.* Málaga: Universidad de Málaga, 1987.

En las pp. 86–88 el autor describe con detalle el pabellón de España realizado por Guastavino en la Exposición Universal de 1893 celebrada en Chicago, que reproducía tres cuartas partes de la Lonja de Valencia. Incluye una fotografía del exterior.

Building Conservation Technology, Inc. «Interim report, condition of the Guastavino dome, National War College, Fort McNair, Washington D.C.» New York: s.n.,1974. Inédito.

Carbonell, Francesc y Valentí Costa. *Els Guastavino, asignatura d'art.* Barcelona: ETSECCP, 1984-1985.

Cartañò, Carles. «Rafael Guastavino, precursor del Modernisme», *Informatiu del collegi d'aparelladors i arquitectes técnics de Barcelona* 87 (marzo de 1996): 7.

Casanelles i Rahola, Eusebi. «La fábrica del Clot del Moro», *L'Erol* (s.a).: 13–18.

Casson, Herbert N. «The Spanish in America», *Munsey's Magazine* (1906-1907): 194–195.

Castillo, Alberto del. *De la puerta del Angel a la Plaza de Lesseps (ensayo de biología urbana).* Barcelona: Librería Dalmau, 1945.

En la p 208 se refiere al palacete de Lorenzo Oliver, obra de Rafael Guastavino Moreno. También habla de la casa Blajot.

Cavestany, Juan. «Tras las huellas de Guastavino», *El País* (2 de agosto de 1997): 15.

Sobre la edición del mapa de New York donde se localizaban 233 edificios con bóvedas de Guastavino.

Codina, Rosa. «Guastavino, un arquitecte incombustible», *Diari de Barcelona* (1 abril de 1990): 31.

Collins, George R. «Guastavino y Moreno, Rafael, and Guastavino y Esposito, Rafael». En *Macmillan Encyclopedia of Architects,* vol. 2, 280–281. New York: The Free Press.

Collins, George R. «Guastavino Co. Paper presented at the annual meeting of the Society of Architectural Historians in New York City», Mecanoscrito inédito, enero de 1966. Guastavino Archives, Avery Library, Universidad de Columbia, New York.

Collins, George R. «Spanish vaults grow in Brooklyn», *Civic News* 29 (9 septiembre de 1966): 12–13.

Collins, George R. «The transfer of thin masonry vaulting from Spain to America», *Journal of the Society of Architectural Historians* 27 (1968):176–201.

Ampliación de una ponencia presentada en la reunión anual de la Society of Architectural Historians en Nueva York, en enero de 1966 y de un estudio presentado en la Conferencia internacional so-

bre sistemas estructurales de fábrica en Austin, Texas, noviembre de 1967. Es el estudio más completo publicado hasta la fecha sobre la empresa de Guastavino. Se divide en dos partes: la primera estudia la construcción tabicada y su historia. La segunda analiza el caso de Guastavino. Incluye una detallada bibliografía y amplia documentación técnica. [Traducido al español y publicado en el presente libro, pp. 19-46].

Constable, Stevenson. «Report in detail of the Guastavino dome floor construction, tested with fire and water April 2nd, 1897», 23 de julio de 1897. Mecanoscrito, 20 h. Guastavino Archives, Avery Library, Columbia University, New York.

Informe del Department of Buildings sobre un ensayo de una cúpula rebajada tabicada construida sobre cuatro muros de fábrica en la esquina de la East 68th St. con la Ave. A., en Nueva York. Se midió la resistencia de la cúpula antes y después de sufrir los efectos de un incendio, tanto por causa del fuego como del agua. Incluye datos del ensayo y se hace referencia a fotografías y dibujos.

Constable, Stevenson. «Report in detail of the test of the R. Guastavino fireproof floor construction, fired for second time on April 15th, 1897», 22 de septiembre de 1897. Mecanoscrito inédito. Guastavino Archives, Avery Library, Columbia University, New York.

Informe del Department of Buildings sobre la segunda etapa del ensayo mencionado anteriormente.

Coppet Berg, Louis de. «Safe building», *The American Architect and Building News* (marzo 1886-diciembre 1890).

En la p. 265, 3 diciembre de 1887 describe las bóvedas tabicadas de Guastavino..Parece ser que Coppet Berg colaboró en los ensayos que Guastavino realizó y que aparecen mencionados en el *Essay* de 1893.

Coppet Berg, Louis de. *Safe building: a treatise giving in the simplest forms possible the practical and theoretical rules and formulae used in the construction of buildings.* Boston: Ticknor and Co., 1889-1890.

Apartado sobre las «Spanish tile arches», en la que no se menciona el nombre de Guastavino, sino el de un arquitecto español como introductor en los Estados Unidos. Incluye un ejemplo de cálculo de una bóveda tabicada de cañón.

Corredor-Matheos, J. y J. M. Montaner i Martorell. *Arquitectura industrial en Cataluña: del 1732 al 1929.* Barcelona: Caja de Cataluña, 1984.

Monografía muy detallada sobre los edificios industriales catalanes, entre los cuales se incluyen la fábrica Batlló y la fábrica de cementos Asland en la Pobla de Lillet, Castellar de n´Hug, de Rafael Guastavino Moreno.

Costello, Laura. «Gateway to America [Ellis Island]», *Blueprint* 8 (1990):1, 6.

Crewe, S. et al. «»Simply astounding.» The cathedral of St.John the Divine, New York». En *Visionary Spires,*editado por S. Crewe, 97–103. London: Waterstone,1986.

Di Santo, Charles. «Restoration of the Queensborough bridge Guastavino tile vaults: A case study», *APT (Association of Preservation Technology) Bulletin* 30, 4 (1999): 27–31.

Dunn, William. «The principles of dome construction», *The Architectural Review* 23 (1908): 63–73; 108–112.

Excelente artículo sobre la estabilidad y construcción de las cúpulas, que fue publicado el mismo año de la muerte de Rafael Guastavino y Moreno. Las cúpulas de las que trata el artículo son la del Bi-Centennial Building of Yale University, New Haven, Conn., la del Students´ Hall en Columbia College y la Columbia University Chapel, en Nueva York; la Grace Universalist church, Lowell, Mass y la del Girard Trust Company´s Building. Incluye planos de detalle de las cúpulas y se analizan las características más sobresalientes de cada una de ellas. El estudio de Dunn está basado en la teoría de la membrana.

Ehrenkrantz, Eckstut and Kuhn Architects and Robert Silman Ass. *The Oyster bar: Guastavino tile ceiling conditions report* 11, 1997. Inédito.

Etheredge, Carl E. «Guastavino construction: the predecessor of thin shell concrete». M.S. Thesis, Dep. Civil Engineering, University of Houston, Diciembre de 1971.

Siguiendo la estructura del Essay on the cohesive construction de Guastavino, el autor analiza el sistema de construcción tabicado interpretando las aportaciones de Guastavino desde la teoría de la membrana. Reproduce las patentes de Guastavino.

Ewing, W.W. «[Informe sobre un ensayo de carga de bóvedas construidas por Guastavino para tres luces distintas]», Mecanoscrito inédito, 5 de Junio de 1901. Guastavino Archives, Avery Library, Columbia University, New York.

Informe del ingeniero Ewing para el President of the Board of Buildings, James Wallace, sobre los resultados obtenidos en los ensayos de carga de varias bóvedas tabicadas.

Flores, Carlos. «El Viejo Mundo construye el Nuevo. La historia de la Guastavino Company, rememorada por la Universidad de Columbia», *Arquitectura,* 310, 1 sem. de 1997): 40–41.

Fowler, Ann S. «The mark of the builder: Rafael Guastavino´s masonry in Asheville, North Carolina», *Arris* 2 (1991): 43–58.

Interesante artículo sobre la historia de la empresa Guastavino desde su llegada a Estados Unidos hasta su liquidación centrado en tres casos particulares: la Biltmore House, St. Lawrence church y la residencia de Rafael Guastavino Moreno, los tres en Asheville, Carolina del Norte. En la Biltmore House Guastavino trabajó con Hunt, que probablemente le había conocido en la Philadelphia Centennial Exposition y más tarde ya en la Exposición de Chicago y así el autor comenta el contenido de la conferencia pronunciada por Guastavino en ésta última en 1893. También es interesante la existencia de hornos de fabricación de ladrillos en la propia residencia de Guastavino en Asheville, además de la fábrica principal de Woburn.

García-Gutiérrez Mosteiro, Javier. «Las bóvedas tabicadas de Guastavino: Forma y construcción». En *Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción,* 365–374. Madrid: Instituto Juan de Herrera, Universidad de Sevilla, CEHOPU,2000.

Gay, C.M. y H. Parker. Matherials and methods of architectural construction. New York: J. Wiley & Sons, 1932.

Rubió Tuduri (1952) cita un párrafo de este libro sobre el sistema de construcción patentado por Guastavino.

González, Felip. «La Generalitat compra la cementera del Clot del Moro y reactiva el turismo en el Berguedó», *La Vanguardia* (14 de agosto de 1996): 21.

Sobre la fábrica Asland construida según proyecto de Guastavino en Castellar de n´Hug.

Goodyear, William H. «The Columbia university chapel», *The Brickbuilder* 15, 12 (1906): 261–269, láms. 162–168.

Artículo monográfico sobre la capilla de la Universidad de Columbia. Breve reseña biográfica sobre Guastavino y su empresa. Información muy detallada sobre la construcción, dimensiones y pesos, con un análisis gráfico de la estabilidad realizado por Nelson Goodyear, ingeniero de los arquitectos Howells and Stokes. Interesante el comentario acerca de la presión normativa, según el autor, verdadera razón de la colocación de zunchos de acero. Planos y fotografías.

Gottlieb, Albert S. «B´Nai Jeshurum Temple, Newark, N.J.», *The Brickbuilder* (1915): 305–306, láms. 166–167.

Guastavino Seidel, R. «The Guastavino family». Mecanoscrito, 1970. Guastavino Archives, Avery Library, Columbia University, New York.

Versión original en inglés de la biografía sobre la familia Guastavino escrita por Rafael Guastavino IV, nieto de Rafael Guastavino Expósito, siendo especialmente interesantes los datos biográficos sobre éste último, como su formación académica. Existe una versión traducida al catalán en forma de mecanoscrito inédito en la Cátedra Gaudí de Barcelona.

Gulli, R., Lemma, M., Tardella, G. «The flat–tile vaults: or boveda tabicada. Employment of Guastavino, Gaudí and Le Corbusier». En *Atti del Convegno CIB-92, Congrés Mondial du Bâtiment.* Montreal:1992.

Gutiérrez, M. Lluisa. «Asland, La Fábrica de la Pobla»: un exemple d´interdisciplinarietat en arqueologia industrial: aplicació a l´ensenyament». En *Jornades d´arqueologia Industrial de Catalunya,* 109–114.

Gómez Acebes, Alfredo. «Rafael Guastavino, de Valencia a Nueva York», *Arquitectura Técnica,* 2ª época (7 de septiembre de 1990): 43–47.

Hamlin, A. D. F. «The modern dome», *School of Mines Quarterly* 5 (1897): 109–119.

Sobre las cúpulas, en general y en relación con la cúpula de la biblioteca de la Universidad de Columbia construida por Guastavino.

Hamlin, T. *Architecture through the ages.* New York: G.P. Putman and Sons, 1953.

Cita la catedral de St. John the Divine, Nueva York.

Howe, Samuel. «Terra cotta as a building material», *The American Architect* 100, 1871 (1 de noviembre de 1911):177–181.

Howe, Samuel. «Della Robbia Room, Hotel Vanderbilt, New York», *The Brickbuilder* (1912): 43–46.

Hughes, Charles H. «Interesting examples of the use of burnt clay in architecture», *The Brickbuilder* 18, 8 (1909): 157–160.

Artículo sobre varias obras de Guastavino en Estados Unidos.

H.B. «A large dome built without centering», *Journal of the Architectural Association* 43, 488 (1927): 131 y ss.

Sobre la construcción sin cimbra de la cúpula de St.John the Divine, Nueva York

Jablonski Berkowitz Conservation. *Mortar analyses & recommended mortar replication mixes for the Oyster bar ceiling, Grand Central Terminal, New York.* Prepared for Ehrenkrantz, Eckstut & Kuhn Architects. New York: 1996. Informe inédito.

Jablonski Berkowitz Conservation. *Mortar joint cleaning tests: Oyster bar restaurant, Grand Central Station, New York.* Prepared for Ehrenkrantz, Eckstut & Kuhn Architects. New York: 1997. Informe inédito.

Jovanovich Lopes, C.E. «Rafael Guastavino i Moreno». Trabajo de doctorado ETS Arquitectura de Barcelona.

Reseña biográfica y lista de las obras de Guastavino en España y Estados Unidos.

Kervick, F.W.W. *Architects in America of catholic tradition.* Rutland, Vt.: Tuttle, 1962.

Habla de las obras de Rafael Guastavino Moreno y su hijo. Collins menciona este libro en su bibliografía sobre Gaudí y el Modernismo Catalán (1973).

Klare, Michael. «Articles on Guastavino arch construction in the United States». Mecanoscrito inédito, agosto de 1962. Guastavino Archives, Avery Library, Columbia University, New York.

Recopilación de bibliografía sobre Guastavino en revistas americanas

Knobloch, Philip G. *Good practice in construction. Part II.* New York: The Pencil Points Press Inc., 1925.

Detalles constructivos de la propaganda de Guastavino, lám. 51 y 52.

Kuhn, Denis G.; R.H. Newbold and K. Lemos. «Restoration of the Oyster bar at New York´s Grand Central Terminal: A case study», *APT (Association of Preservation Technology) Bulletin* 30, 4 (1999): 41–45.

Landau, Sarah Bradford. «The Row Houses of New York´s West Side», *Journal of the Society of Architectural Historians* 34 (1975): 19–36.

Este artículo trata de la construcción de bloques de viviendas en la zona oeste de Nueva York durante el s. XIX. En las pp. 23–26 se estudia la colaboración entre Guastavino Moreno y Levy en la construcción de varios bloques de vivienda entre los años 1885 y 1886. Guastavino trabajó como arquitecto realizando el proyectos de las viviendas y utilizando el estilo mudéjar, muy apreciado entre su clientela judía. En los bloques 118–134 W. 78th St., construidos en 1886 Guastavino utilizó por primera vez en Estados Unidos la construcción cohesiva, con bóvedas en todos los pisos y también las escaleras.

Lane, Daniel R. «Putting Guastavino in context: A scientific and historic analysis of his materials, methods and technology». M. A. Thesis. Graduate School of Architecture, Planning and Preservation, Univ. Columbia, 2000.

Lauterer, Maggie. «Remembering Guastavino», *Ashevi-lle citizen-times* (8 de junio de 1986): 1–4, sec. C.

Reseña biográfica de la familia Guastavino y su presencia en Ashville.

Link, Karin Murr. «Guastavino tile construction: History and restoration». M. Sc. Thesis. University of Oregon, 1995.

Completo trabajo de investigación sobre la vida y obra de Rafael Guastavino, padre e hijo. Después se estudia el sistema de construcción cohesiva y las patentes más importantes. Se analizan varios edificios objeto de reciente restauración y el problema de los materiales acústicos en edificios religiosos.

Maass, John. *The glorious enterprise: Centennial Exhibition of 1876 and H.J. Schwarzmann, architect-in-chief.* New York: American Life Foundation, Watkins Glen, 1973.

Sobre la Biltmore house, pp. 116–117.

Mac Gaughan & Johnson, architects and planners. «National War College. Feasibility study of feasible methods of repairing the roof of the National War College». Washington D.C.:1972. Informe inédito.

Mc Govern, John. *A portfolio of photographic views of the World's Columbian Exposition.* Chicago: 1894.
Incluye información sobre el pabellón de España construido por Guastavino en la Exposición Universal de Chicago, en 1893.

Melvin, Walter B. «Repairs to the Manhattan aproach to the Queensborough Bridge. Preliminary specifications».1993. Informe inédito.

Melvin, Walter B. «Queensborough bridge. Survey of Guastavino tile vaults. Project 350001». 1993. Informe inédito.

Melvin, Walter B. «Queensborough bridge restoration. Contract 5. Specifications». 1994. Informe inédito.

Merritt, Frederick S. *Building construction handbook.* New York: Mc Graw-Hill Book Co., 1958.
Sobre el material acústico de Guastavino, Akoustolith., en la p. 12, sección 17.

Milkovich, Ann K. «Guastavino tile construction: An analysis of a modern cohesive construction technique». M.S. Thesis, University of Pennsylvania,1992.
Muy interesante trabajo de investigación sobre la historia de la empresa Guastavino, las publicaciones de Guastavino, el problema de la conservación de los edificios con construcción tabicada y, finalmente, estudio de cuatro edificios construidos por Guastavino en Filadelfia, el Girard Trust Bank, St. Patrick's church, St. Francis de Sales church y el University Museum de la Universidad de Pennsylvania.

Milkovich, Ann K. «Looking back: Guastavino tile construction», *Building Renovation* 7/8 (1993): 57–60.

Miranda, T.; F. Bermejo; Mª P. Mónaco y J.C. Capilla. «Rafael Guastavino y la «construcción cohesiva»», *Quaderns* 171 (octubre-diciembre de 1986): 78–84.
Incluye planos y fotografías de la fábrica Asland de la Pobla de Lillet, que se realizó con los planos enviados por Guastavino.

Molema, Jan. «Vault structures by Rafael Guastavino i Moreno (1842-1908) and the traditional catalan vault». En *Geschichte des Konstruierens V,* 38, 230 (enero de 1992): 139–154.
Breve reseña sobre el *Essay on the theory and history of the cohesive construction*, con imágenes del mismo.

Nacente, Francisco. *El constructor moderno. Tratado teórico y práctico de arquitectura y albañilería.* Barcelona: Mariano Sola-Sagalés, 1888.
Planos y perspectivas de obras de Guastavino en Cataluña.

Nacente, J. *Álbum de arquitectura de Barcelona. 1ª Parte.* Barcelona: 1888.
Describe la casa Blajo y Buxeda construidas por Guastavino en Barcelona, láms. 152–3, 174–5.

Neumann, Dietrich. «The Old world builds the New: the Guastavino Company and the technology of the Catalan vault, 1885-1962», *Journal of the Society of Architectural Historians* 56, 1 (marzo de 1997): 341–343.
Reseña sobre la exposición del mismo título celebrada en 1996.

Neumann, Dietrich. «The Guastavino system in context: History and dissemination of a revolutionary vaulting method», *APT (Association of Preservation Technology) Bulletin* 30, 4 (1999): 7–13.
[Traducido al español y publicado en el presente libro, pp. 147-172].

Ortner, Everett H. «Two 1885 Compositions in 1988», *Brownstoner* (verano de 1988): 4–5.
Breve artículo sobre los primeros bloques de vivienda proyectados por Guastavino en 1885 en la zona oeste de Manhattan en colaboración con Levy.

Parks, Janet y Alan G. Neumann, eds. *The Old world builds the New. The Guastavino Company and the technology of the catalan vault, 1885-1962 (Catálogo de la exposición).* New York: Avery Architectural Library and the Miriam and Ira D. Wallach Art Gallery, Columbia University, 1996.
Catálogo de la exposición celebrada en la Avery Library en 1996 con abundante material gráfico

Parks, Janet y Alan G. Neumann. *The old world builds New York: Guastavino construction in Manhattan, 1886-1954: a walking tour guide.* New York: Avery Library, Columbia University, 1997.
Lista de edificios de Nueva York en los que intervino la empresa Guastavino y plano con localización de los mismos.

Parks, Janet. «Documenting the work of the R. Guastavino Company: Sources and suggestions», *APT (Association of Preservation Technology) Bulletin* 30, 4 (1999): 21–25.

Pearson, Clifford A. «Reopening America's Gates», *Architectural Record* 11, 178 (1990): 46–57.
Artículo sobre la restauración de las bóvedas construidas por Guastavino en la oficina de registro de Ellis Island, Nueva York.

Perrine, George. «The construction of the temporary dome over the crossing of the cathedral church of St. John the Divine», *The N. Y. Architect* 5, 4 (abril de 1911): 56–61.
Artículo sobre la cúpula de St. John the Divine recién construida. Detalles sobre la construcción del templo y de la cúpula provisional de Guastavino.

Pounds, Richard. «Guastavino acoustical tile & plaster: history of development and current conservation issues». M.S. Thesis, Columbia University, 1995.
Trabajo de investigación sobre las aportaciones de la empresa Guastavino al campo de la acústica en colaboración con Sabine.

Pounds, Richard; D. Raichel y M. Weaver. «The unseen world of Guastavino acoustical tile construction: History, development, production», *APT (Association of Preservation Technology) Bulletin* 30, 4 (1999): 33–39.
[Traducido al español y publicado en el presente libro, pp. 177-186].

Praeger, Emil. «Structural features of some modern american churches», *The Architectural Forum* 49 (1928): 729–738.
Interesantes fotos del proceso constructivo y diagramas de cálculo de la iglesia del Heavenly Rest, St. John the Divine y Riverside Church, en Nueva York, donde se observa que el esqueleto estructural era de acero y las bóvedas de Guastavino rellenaban después los espacios.

Price, Matlack. «Two recent New York churches from the designs of Bertram Grosvenor Goodhue», *The Architectural Forum* 32 (1920): 107–110, láms. 33–42.
Sobre las iglesias de St. Bartholomew y St. Vincent Ferrer, en Nueva York.

Prudon, Th.H. «Guastavino tile construction», *Progressive Architecture* 70, 9 (1989): 137–138.
Breve historia de la empresa Guastavino y restauración de las bóvedas.

Putnam, Edward H. «Architectural terra cotta construc-

tion», *The American Architect* 100,1873–1878 (15 de noviembre de 1911): 193-197, 201-207, 257-261.

Ramazzotti, L. «La cupola per St. John the Divine di Rafael Guastavino». En *Lo specchio del cielo,* editado por Claudia Conforti, 277–291. Roma: Electa,1997

[Traducido al español y publicado en el presente libro, pp. 187-200].

Redondo Martínez, Esther. «Las patentes de Guastavino & Co. en Estados Unidos (1885-1939)». En *Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción,* 895–905. Madrid: Instituto Juan de Herrera, Universidad de Sevilla, CEHOPU,2000.

Interesante trabajo de análisis del contenido de las patentes de Guastavino.

Robertson, Doug. «Seismic considerations for Guastavino ceiling, vault and dome construction», *APT (Association of Preservation Technology) Bulletin* 30, 4 (1999): 51–58.

Rogent Pedrosa, F.; L. Doménech i Montaner. *Arquitectura moderna de Barcelona.* Barcelona: Parera y Cia., 1897.

Recoge varios proyectos de la primera etapa de Guastavino en Barcelona, láms. 65 y 93.

Rosell i Colomina, Jaume. «Rafael Guastavino i Moreno: enginy en l'arquitectura del segle XIX». En *Ciéncia i Técnica als Paisos Catalans: una aproximació biográfica,* 494–522. Barcelona: Fundació Catalana per la Recerca,1995 [traducido al castellano en el presente libro, pp.].

La biografía sobre Rafael Guastavino Moreno y su hijo más completa de las publicadas. [Traducido al español y publicado en el presente libro, pp. 201-216].

Russell, James S. «Church finds its voice», *Architectural Record* 183 (1995): 36–37.

Sobre los problemas de acústica en algunas obras de Guastavino.

Sagarra, C. «Estudio del edificio de R. Guastavino, en Aribau, 3». Inédito. Cátedra Gaudí, Barcelona.

Serra, Montserrat. «Un innovador a Nova York», *El Temps* 13 (1996): 68–75.

Resalta el artículo que la última casa de Guastavino era de madera, sin bóvedas y atribuye a Guastavino la empresa textil Casa Ramona.

Shade, Neil Thompson. «Tiles, masonry and plaster products manufactured by the R. Guastavino company between 1911 and 1933 (conference 1994 Jun: Cambridge, MA)». En *Wallace Clement Sabine Centennial Symposium,* 61–64, 1aAAc3. New York: Accoustical Society of America,1994.

Sobre los materiales con propiedades acústicas fabricados por la R. Guastavino company en colaboración con Sabine.

Silman, Robert. «Structural repairs to fire-damaged Guastavino tile vaults at Grand Central Terminal's Oyster bar», *APT (Association of Preservation Technology) Bulletin* 30, 4 (1999): 47–49.

Smith, Christine. *St. Bartholomew's church in the city of New York.* New York, Oxford: Oxford University Press, 1988.

Una de las obras más significativas de Guastavino en Nueva York. También habla de St John the Divine en las pp. 82–84 .

Stanwood, Richard R. «Temple Tifereth Israel, Cleveland», *The Architectural Forum* 43, 5 (noviembre de 1925): 257–260, lám. 73–74.

Thompson, Emily Ann. «Mysteries of the acoustic: Architectural acoustics in America, 1800-1932». Ph.D. Diss. Princeton University,1992.

Especialmente interesante el apartado sobre la relación entre Sabine, Cram Goodhue & Ferguson y la empresa Guastavino, pp. 205–211. Cram fue quien puso en contacto a Sabine y Rafael Guastavino Expósito, que se dio cuenta del interés comercial que tendría la producción de material acústico. Sabine también reconoció en una carta a Cram el enorme valor de la colaboración de la empresa Guastavino en sus propias investigaciones sobre Acústica.

Trump, James D. van. «Now Rome return: The service tunnel of the Philadelphia museum of art», *Charette* 45 (diciembre de 1965): 8–11.

Tubau, D. y G. «Descobrim la Pobla gaudiniana», *REGIÓ* 7 (30 mayo de 1993):1–5.

Sobre la fábrica Asland construida según proyecto de Guastavino.

Urgellés de Tovar, Agustín. *Exposición General Catalana de 1871: historia y reseña de dicho concurso.* Barcelona: Imp. de Leopoldo Doménech, 1871.

En la p. 20 se menciona a Rafael Guastavino I como participante en la sección de Arquitectura con cuatro fachadas y proyectos de casas particulares. También se indica su dirección en ese momento, Paseo de Gracia, Barcelona.

Webster, Richard. *Philadelphia preserved: Catalog of the Historic American Buildings Survey.* Philadelphia : Temple University Press, 1981.

Sobre el Girard Trust Bank de Filadelfia, obra de Guastavino.

Wight, Peter B. «Fireproof construction and the practice of american architects», *The American Architect and Building News* 41, 921 (19 de agosto de 1893): 113–115.

Wight, Peter B. «The practice of architecture and cohesive construction in America: the life and works of Rafael Guastavino», *The Brickbuilder* 10, 4–10 (abril-octubre de 1901): 79–81, 100–102, 184–188, 211–214.

Interesante artículo escrito en cuatro partes sobre la vida y obra de Guastavino en España y Estados Unidos escrito en vida de Rafael Guastavino Moreno.

Wight, Peter B. «The use of burned clay products in the fireproofing of buildings III», *The American Architect* (15 de septiembre de 1906): 84–86.

Zukosky, Jerome. «Catalan Design: Its Legacy Here», *New York Herald Tribune* (16 de junio de 1963).

Sobre la construcción tabicada

Capítols fets y firmats...de la Vila de Biar. Archivo parroquial de Bihar. 20 marzo de 1698.

«Devis des ouvrages a faire a l'église parroissiale Ste. Magdeleine, en execution des plans que messieurs les administrat de l'oeuvreet marquilliers, ont fait diesser par le sieur Villecrose géographe et architecte». Extrait. Juillet, 1779. Manuscrito. Archivos Municipales.

Memoria con detalles dibujados de las bóvedas tabicadas que

se iban a construir en 1779 en la iglesia parroquial de Sainte Madeleine. Interesante el tipo de ladrillo empleado con una cara cóncava.

«Bóvedas de ladrillo», *Revista de Obras Públicas* 14, 4 (1866): 44–46.

«Spanish vaults», *The American Architect and Building News* 26, 716 (14 de septiembre de 1889): 117–118.

Sobre el origen romano de las bóvedas tabicadas.

«Resistencia de bóvedas tabicadas», *Memorial del Cuerpo de Ingenieros* 2 (1892): 54–55.

El artículo habla de un ensayo llevado a cabo por el capitán Luis Monravá de la Comandancia de Ingenieros de Barcelona para medir la resistencia de un tabicado cilíndrico de 2 m de altura que cerraba una de las paredes verticales de un depósito de agua rectangular de 8 m de lado. Se describen los agrietamientos sufridos y el valor final de la resistencia. Es interesante la mención a los ensayos realizados en la Comandancia de Barcelona años antes, y en el cuartel de María Cristina de Madrid y otros lugares.

«Resistencia de bóvedas tabicadas», *Memorial del Cuerpo de Ingenieros* 8 (1892): 251–253.

Se describe un ensayo realizado con posterioridad al del anterior artículo también en la Comandancia de Ingenieros de Barcelona. En esta ocasión el depósito de agua tenía una planta aproximadamente triangular, construido dentro de una estructura de muros exteriores y consistía en un tabicado recto, uno siguiendo la curvatura habitual en las escaleras y el tercero, doble, de forma cilíndrica y rebajado. El primero en fallar fue el recto, después el de escalera y el último se mantuvo en pie sin daños.

«Experimentos de rotura de bóvedas de pequeñas luces», *Revista de Obras Públicas* 43, 12 (1896): 148–149.

«Experimentos de rotura de bóvedas de puentes» *Revista de Obras Públicas* 43, 13 (1896): 161–162.

Arquitectura Cuba 30, 331 (1964).

Éste y el siguiente artículo aparecen citados por Collins en The transfer of thin masonry vaulting from Spain to America» en relación con la introducción de la técnica tabicada en Cuba en los años sesenta. Sobre todo se utilizaron en la construcción de Escuelas Nacionales de Arte.

Cuba revista mensual 3, 30 (octubre de 1964).

«Cuban art school: A cluster of bubbles», *The Architectural Forum,* (enero-febrero de 1966): 81–5.

Sobre las Escuelas Nacionales de Arte construidas en Cuba tras la revolución de 1959 utilizando las bóvedas tabicadas importadas de España.

Abad, T. y P. Chías. «La tradición de las bóvedas tabicadas». En *Historia de las técnicas constructivas en España*, 335–354. Madrid: Fomento de Construcciones y Contratas, 2000.

Abraham, Pol. «Les aires planes portantes en maçonnerie», *L'Architecture Française* 2, 13 de novembre de 1941): 37–43.

Abraham recibe el encargo de construir junto a Brun una escuela de formación de construcción en fábrica y en el artículo se argumentan las ventajas de la construcción tabicada frente a otros materiales en esa época de escasez. Interesante la mención a la empresa Fabre, que hizo millares de bóvedas tabicadas en Francia y los ensayos de Lhermitte, sobre este tipo de bóvedas en el Laboratoire du Bâtiment et des Travaux Publics. Algunas consideraciones sobre la estática de las bóvedas tabicadas en una época de crítica a la teoría de la elasticidad aplicada a las fábricas.

Abraham, Pol. «Les aires planes portantes en maçonnerie», *La Génie Civile* 119, 1–2, (3–10 enero de 1942): 16–17.

Resumen del artículo publicado en L'Architecture Française.

Abraham, Pol. *Beaux Arts* (16 de enero de 1942).

Sobre la construcción de bóvedas tabicadas en Francia.

Abraham, Pol. *L'Architecture Française* 2 (15 de enero de 1942): 25–34.

Abraham, Pol. *L'evolution des procédés traditionnels de construction dans la maçonnerie de bâtiment.* Paris: 12 rue Brancion, 1945.

Aitchison, G. «Roman construction», *The Builder* 36 (16 de marzo de 1889): 200–201.

Incluye un resumen de la carta que Choisy envió como respuesta a las preguntas de Aitchinson sobre la posibilidad de que una bóveda tabicada de 25 m de luz se mantuviera en pie. Choisy plantea por primera vez el papel decisivo de los rellenos en los riñones de este tipo de bóvedas.

Albarrán, José. «Bóvedas de ladrillo que se ejecutan sin cimbra», *Anales de la construcción y de la industria* 10, 11,12 y 13 (1885): 161–163, 178–182, 214–217.

Albarrán, José. *Bóvedas de ladrillo que se ejecutan sin cimbra.* Madrid: Imp. Memorial de Ingenieros, 1885.

Artículo sobre la construcción sin cimbras. En la primera parte estudia las bóvedas tabicadas para después analizar con más detalle las bóvedas de rosca extremeñas. Describe el proceso constructivo de las tabicadas; las capas de ladrillo las llama «alfa». Su utilización es adecuada cuando no han de recibir un peso excesivo y en escaleras. Llama la atención sobre la necesidad de dejar que el yeso (o el cemento de fraguado rápido) fragüe antes de cerrar la bóveda, porque, según él, el aumento de volumen del yeso produce un empuje contra los estribos. Una vez fraguado el yeso la bóveda produce empujes insignificantes. También habla de los distintos aparejos posibles y sus ventajas.

Araguas, Philippe. «L'Eglise de San Martin de Belchite», *Mélanges de la Casa de Velázquez* 22 (1986): 85–109.

De la p. 103 a la 109 Araguas estudia la construcción tabicada mencionando los estudiosos que se ocuparon de ella, entre ellos Guastavino. Finalmente se detiene a considerar el origen más remoto de la técnica en España.

Araguas, Philippe. «Architecture de brique et architecture mudéjar», *Mélanges de la Casa de Velázquez* 23 (1987): 173–200.

Araguas, Philippe. *L'Acte de naissance de la «boveda tabicada», ou, le certificat de naturalisation de la «volte catalane».* Paris: Société Française d'Archéologie, 1998. Separata de *Bulletin monumental* 2, 156 (1998): 129–136.

Sobre el origen de la bóveda tabicada y su aparición en la literatura técnica en el s. XVIII. Habla de la aceptación en Francia de esta técnica e investiga su origen español, concretamente, habla de la existencia de documentos según los cuales Valencia habría sido el primer lugar donde se tuvo noticia de la existencia de estas bóvedas.

Araguas, Philippe. «Voûte a la rousillon», *Butlleti de la Reial Academia Catalana de Belles Arts Sant Jordi* 13 (1999): 173–185.

Artículo sobre el lugar de origen de la bóveda tabicada, que el autor investiga a través de un texto de 1382 dirigido al rey de Aragón sobre el hallazgo en el palacio real de Valencia de una bóveda que podría responder al tipo tabicado y que después se llevaría a otros edificios, posiblemente en Aragón.

Aveta, Aldo. *Archi, volte, cupole. Materiali e tecniche tradizionali nel Napoletano.* Nápoles: ArteTipografica, 1987.

En las pp. 105–145 analiza las bóvedas tabicadas.

A. H. «Chantier d'application de la maçonnerie d'Andresy. Internat pour 150 éléves. P. Abraham et M. Brun, architectes D.P.LG.», *L'Architecture Française* 2 (15 de enero de 1942): 25–34.

Descripción de la escuela realizada por Abraham y Brun en la que utilizaron bóvedas tabicadas.

Bails, Benito. «De las bóvedas tabicadas». En *De la Arquitectura Civil,*567–586. Murcia: Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos,1983.

Gran parte de la información la toma Bails de fray Lorenzo y también de la obra de Blondel-Patte. Bails trata de demostrar la solidez y solera de la construcción tabicada frente a los temores de algunos contemporáneos. Reproduce los comentarios de fray Lorenzo de San Nicolás acerca de todos los tipos de bóveda. Después habla de los ejemplos recientes de construcción tabicada en Francia y da indicaciones precisas acerca de su construcción. Las lengüetas permiten trasladar el peso a los muros y esto es lo que garantiza su estabilidad.

Ballesteros, Ramón de. «Memoria sobre construcciones de ladrillo». Manuscrito inédito, 1868. CGD 4-2-5-11, Archivo Histórico Militar, Madrid.

Se trata de una memoria de la Dirección Subinspección de Ingenieros de Cataluña firmada por el autor en Barcelona el 1 de agosto de 1868. Estudia las bóvedas tabicadas en un apartado titulado «Ejecución de estas bóvedas en Barcelona». El autor habla de la conveniencia de construir bóvedas tabicadas cuando no se requiere mucho espesor, puesto que así se corrige la reducción de espesor en las juntas en la zona de intradós.

Ballesteros, Ramón de. «Bóvedas tabicadas y otras, aplicadas a construcciones modernas». Manuscrito inédito, 1869. CGD 4-2-5-17, Archivo Histórico Militar, Madrid.

Segunda memoria del mismo autor firmada en Lérida el 1 de agosto de 1969 en nombre de la Dirección Subinspección de Ingenieros de Cataluña. Interesante artículo monográfico dedicado a la construcción de bóvedas tabicadas, con ejemplos coetáneos principalmente en Cataluña.

Bannister, T.C. «The Roussillon vault. The apotheosis of a "Folk" construction», *Journal of theSociety of Architectural Historians* 27, 3 (1968):163–175.

Interesantísimo artículo sobre la construcción tabicada como construcción incombustible y su adopción en Francia a través del Langüedoc en el s. XVII, así como su posterior desarrollo durante el s. XVIII, que propició la aparición del libro del conde D'Espie *Manière de rendre toutes sortes d'édifices incombustibles*. Después estudia los edificios franceses más sobresalientes construidos con esta técnica y su inclusión en los tratados de Blondel y Rondelet, para terminar con la obra de Guastavino en Estados Unidos y la recuperación de la construcción tabicada en Francia en el s. XX por parte de Pol Abraham dentro del campo de la restauración. Es el artículo que precede al de Collins en el mismo número de la revista.

Bassegoda Amigó, Joaquín. «El Temple de la Sagrada Familia», *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña* (1916): 45–53.

Incluye tabla de ensayos de materiales realizados por Gaudí

Bassegoda Amigó, Joaquín. *Ùltimes evolucions de la volta ogival.* Barcelona: Acadèmia Catalana de Belles Arts de Sant Jordi, 1936.

En la última parte se habla de Pere Blay y la bóveda tabicada de la iglesia construida por él en la Selva del Camp.

Bassegoda Amigó, Joaquín. «Transició de les voltes de pedra a les de maó de pla en las esglesies de Catalunya», *Memòries de la Acadèmia de ciències i arts de Barcelona* 3ª època 25, 15 (1936): 353–357.

Sobre Pere Blay y la introducción de la técnica tabicada en Cataluña de origen renacentista italiano. Existe un mecanoscrito de 1936 con la traducción al castellano en la Cátedra Gaudí de Barcelona.

Bassegoda Musté, Buenaventura. «La bóveda catalana», *Boletín de Información de la Dirección General de Arquitectura* 2, 2 (marzo de 1947): 15–16.

Estudio esquemático sobre la historia de la construcción tabicada y los métodos para calcularlas, que más tarde sería ampliado y documentado. Menciona a Guastavino como contribución fundamental.

Bassegoda Musté, Buenaventura. *La bóveda catalana.* Barcelona: s.n., 1947.

Discurso leído el 26 de noviembre de 1946, donde Bassegoda Musté analiza con detalle el origen de la bóveda tabicada, mencionando la importante contribución de Guastavino. Explica después los diversos métodos de cálculo propuestos para analizar su estabilidad y expone las ecuaciones de la teoría de la membrana para distintos tipos de bóvedas. Nombra la firma Fabre que en esa época había patentado unas bóvedas sin empuje.

Bassegoda Musté, Buenaventura. *Bóvedas tabicadas.* Madrid: CSIC, 1952.

Estudio muy completo sobre la historia de la construcción tabicada y los métodos para calcular su estabilidad, contenido de una conferencia encargada por Torroja y Paéz. Incluye una pequeña biografía de fray Lorenzo de San Nicolás; menciona la disputa entre Bernini y Perrault. Menciona la contribución de Guastavino y después, en las aplicaciones modernas de la bóveda tabicada cita a Rank, en Munich, y a Le Corbusier. Abundante información fotográfica, principalmente de obras en Cataluña.

Bassegoda Musté, Buenaventura. *Bóvedas tabicadas.* Bilbao: Urigüen Dochao, 1957.

Bassegoda Musté, Buenaventura. *Fermento científico de la estática.* Barcelona: Imp. Angel Ortega, 1970.

Bassegoda Musté, Buenaventura. «Racionalismo a ultranza en la arquitectura ogival». En *Algunos ensayos de técnica edificatoria,* 61–79. Barcelona: Universidad Politécnica, 1975.

Bassegoda Musté, Buenaventura. «La bóveda tabicada». En *Algunos ensayos de técnica edificatoria,* 128–151. Barcelona: Universidad Politécnica,1975.

Bassegoda Musté, Buenaventura. *La bóveda catalana.* Zaragoza: Institución «Fernando el Católico», 1997.

Interesante el prólogo de su hijo Juan Basegoda Nonell sobre las bóvedas tabicadas en Cataluña y los datos biográficos sobre Guastavino.

Bassegoda Musté, Buenaventura. *Bóvedas tabicadas.* Madrid: CSIC, Patronato Juan de la Cierva de Investigación Técnica. Inst. Técnico de la Construcción y del Cemento, s.a.

Bassegoda Nonell, Juan. «Bóvedas medievales a la romana», *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona.* 3, 43, 782 (agosto de 1977): 287–382.

Bassegoda Nonell, Juan. «La capilla real de la catedral de Barcelona», *El Noticiero Universal,* Barcelona (2 junio de 1977).

Bassegoda Nonell, Juan. *La cerámica popular en la arquitectura gótica.* 3ª ed. Barcelona: Eds. del Nuevo Arte Thor, 1983 (1ª ed. 1978).

Bassegoda Nonell, Juan. «La bóveda catalana», *Anales de arquitectura* 3, 3 (1991): 142–148.

Breve artículo sobre la arquitectura en Cataluña de finales de siglo XIX y principios del XX, donde se menciona también la contribución de Guastavino.

Bassegoda Nonell, Juan. «Arquitectos catalanes del siglo XIX». En *Aproximación a Gaudí,* 227–265. Madrid: Doce Calles,1992.

Habla del empleo de bóvedas tabicadas en Cataluña durante el s. XIX.

Bassegoda Nonell, Juan. «Bóvedas tabicadas». En *La bóveda catalana,* de Buenaventura Bassegoda Musté. 11–27. Zaragoza: Institución «Fernando el Católico»,1997.

Bassegoda Nonell, Juan. «Arquitectura naturalista y estructuras orgánicas», *Abrente* 30 (1998):137–150.

Bayó Font, Jaime. «Apuntes de construcción tomados del catedrático don Juan Torras Guardiola. Curso 1877–1878». Manuscrito, Cátedra Gaudí, Barcelona.

Bayó Font, Jaime. «La bóveda tabicada», *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña* (1910): 157–184.

Intento de aplicar la teoría de la elasticidad al cálculo de las bóvedas tabicadas, ya que según él, no sólo trabajan a compresión sino también a flexión. Toma los valores de resistencia a compresión y tracción obtenidos por Guastavino en sus ensayos. Considera articuladas las bóvedas en los apoyos y toma dos puntos sobre la línea media de la sección, a un cuarto de la luz desde los arranques, como de momento nulo. Obtiene así la ley de espesores que una forma dada debe tener para soportar adecuadamente el diagrama de momentos correspondiente. Finalmente, considera las escaleras tabicadas como semibóvedas con arranques a distinto nivel y admite que para las rebajadas se puede calcular como estructuras totalmente comprimidas, pero no las peraltadas.

Bergós Massó, Juan. *Formulario técnico de construcciones.* Barcelona: Bosch, 1936.

En el apartado dedicado a «Arcos y bóvedas», 409–414, menciona el caso particular de las bóvedas tabicadas a las que, dada su elasticidad, habrá que aplicar las fórmulas propuestas para vigas curvas articuladas en sus extremos o como mucho semiempotradas. También por supuesto y con más razón se analizarán así las bóvedas tabicadas armadas.

Bergós Massó, Juan. *Construcciones urbanas y rurales: Composición de viviendas, alojamientos para animales, almacenes y tiendas, construcción, redacción de proyectos.* Barcelona: Bosch, 1945.

Estudio de arcos y bóvedas, entre ellas, tabicadas con un ejemplo de cálculo de estabilidad de una cúpula. Después se trata el tema de las escaleras tabicadas, también con un ejemplo resuelto. Tipos de ladrillos, depósitos de agua, un proyecto para una vaquería con bóveda tabicada. Incluye planos, formularios, tablas y detalles.

Bergós Massó, Juan. *Materiales y elementos de construcción. Estudio experimental.* Barcelona: Bosch, 1953.

Estudio experimental de materiales y elementos constructivos: tabiques de panderete, soleras tabicadas con y sin armado, bóvedas tabicadas, donde menciona los ensayos de Guastavino, método de cálculo de Gaudí, Terradas, y primeros ensayos de laboratorio del autor.

Bergós Massó, Juan. «Nuevos avances técnicos a incorporar en el Templo de la Sagrada Familia», *Cúpula* 39 (enero de 1953): 749–750.

Bergós Massó, Juan. *Tabicados huecos.* Barcelona: Colegio de Arquitectos de Cataluña y Baleares, 1965.

Estudio experimental sobre las bóvedas tabicadas realizado para la terminación de las obras en el templo de la Sagrada Familia de Gaudí. Realiza un repaso histórico de la construcción tabicada y los métodos de cálculo, decantándose por la teoría de la elasticidad. Realiza ensayos para medir la resistencia a tracción, compresión y cortante de diversas probetas de material y luego ensayos de rotura de diversos elementos tabicados, entre ellos bóvedas, sin armar y armadas, para medir la carga de colapso. El material empleado son ladrillos huecos, para dar más ligereza a las bóvedas.

Blondel, J.F. *Cours d' architecture, ou traité de la décoration, distribution et construction des bôtiments... continué par M. Patte.* Paris: Chez la Veuve Desaint, 1771–1777.

Muy interesante el capítulo dedicado a las bóvedas tabicadas. Se resalta el antiguo empleo de este tipo de bóveda en Francia, sobre todo en la zona sur del Rosellón. Los comentarios giran en torno a la contemporánea obra de D´Espie y se describen las realizaciones más importantes del momento, con láminas. Se habla de tres usos básicos: forjados, terrazas y cubiertas de tabicados dobles. Resulta interesante también los detalles constructivos donde se observa la inserción de elementos metálicos.

Boguerín, Francisco Javier. «Construcción de bóvedas de ladrillo sin el ausilio de cimbras ni yeso», *Revista de Obras Públicas* 3 (1855): 135–136.

Breve artículo sobre la construcción de bóvedas sin cimbra, por rebanadas.

Bosch Reitg, Ignacio. «La bóveda vaída tabicada», *Revista Nacional de Arquitectura* 9, 89 (mayo de 1949): 185–199.

Define como tabicadas las de una sola hoja, de ladrillo hueco y defiende las razones de su mayor eficacia constructiva. Después se centra en el estudio de las bóvedas vaídas, que según él concentran sus esfuerzos hacia los soportes de los ángulos, y lo demuestra estudiando los agrietamientos que se producen en un ensayo real. Esto demuestra para Bosch que hay un comportamiento tridimensional en este tipo de bóvedas, que hay que analizar aplicando un método análogo al de Love y Marcus para placas. Introduce en su artículo las ecuaciones necesarias para el cálculo y concluye con recomendaciones prácticas a la hora de construirlas. Abundante información gráfica y planimétrica de obras de Bosch en Gerona, algunas de varias plantas.

Cacialli, C. *La casa colonica ed il paesaggio agrario volterraneo.* 1989.

Sobre las bóvedas tabicadas a la Volterrana» italianas.

Campo-Redondo, P. *Extracto de las lecciones de mecánica y construcción dadas por primera vez en lo segundo año de la carrera de maestro de obras (...)* Madrid: 1854.

Cardellach, Félix. «Estructuras tabicadas». En *Filosofía de las estructuras,* 57–64. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, 1970.

Casabona Ferré, Mª Cristina et al. eds. *Estudio de las bóvedas tabicadas de la planta mansardas de la Casa Milà (La Pedrera).* Trabajo fin de carrera, UPC. Escola Universitària Politècnica de Catalunya, 1995.

Casals Balagué, A.. «Nuevos datos sobre la construcción de Antoni Gaudí: La sorprendente estructura constructiva de la casa Botines de León». En *Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción,* 121–128. Madrid: CEHOPU, Instituto Juan de Herrera, 1996.

Cassinello Pérez, Fernando. *Bóvedas y cúpulas de ladrillo.* 2ª ed. Madrid: Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento, 1964.

Cassinello Pérez, Fernando. «Bóvedas de ladrillo», *Manuales y normas del Instituto Eduardo Torroja de la construcción y cemento.* Madrid, 1969.

Muy interesante la parte dedicada a las bóvedas tabicadas, sobre todo las tablas normalizadas de los tipos más frecuentes.

Collins, George R. «The relevance of Antonio Gaudí to modern enginneering». Mecanoscrito. Guastavino Archives, Avery Library, Columbia University, New York.

Collins, George R. «Antonio Gaudí: Structure and Form», *Perspecta* 8 (1963): 63–90.

Collins, George R. «Antonio Gaudí: Estructura y forma», *Hogar y Arquitectura* (septiembre-octubre de 1966): 34–52.

Collins, George R. «A system of structural clay vaulting». En *International Conference on Masonry Structural Systems at Austin, Texas, noviembre de1967.*

Collins, George R. «Antonio Gaudí and the uses of technology in modern architecture». Mecanoscrito de una versión que había de publicarse en *Civil engineering: History, heritage and the humanities.* Selected papers from the First National Conference on Princeton, N. J.: Princeton University, 1971. Guastavino Archives, Avery Library, Columbia University, New York.

Métodos para el cálculo de la estructura empleados por Gaudí, en especial relativos a la iglesia de la Colonia Güell. Aparece mencionado Guastavino y su contribución a la construcción tabicada.

Collins, George R. y Maurice E. Farinas. *A bibliography of Antonio Gaudí and the Catalan Movement, 1870-1930 (Papers of the American Association of Architectural Bibliographers, volume X).* Charlottesville: The University Press of Virginia, 1973.

Collins, George R. «The significance and influence of Gaudí», *A+U* 86, extra issue (1974): 6–11.

Collins, George R. «The design procedures and working methods of the architect Antonio Gaudí». En *España entre el Mediterráneo y el Atlántico, III. (XXIII Congreso Internacional de Historia del Arte CIHA, Granada, Hospital Real, 3–8–IX– 1973),* 357–379. Granada: 1979.

Collins, George R. «Historical antecedents of modern cohesive thin masonry vaulting». En *Colloquium on History of Structure*, 91–94. International Association for Bridge & Structural Engineering, 1982.

Sobre la construcción cohesiva frente a la de gravedad. Hipótesis sobre su origen.

Collins, George R. «The Archive of Catalan Art and Architecture: Los Amigos de Gaudí en EEUU». En *Antoni Gaudí (1852–1926).* Barcelona: Fundación Caja de Pensiones,1985.

Crabtree, H. «Vaulted in the work of Le Corbusier», *Approach* 4 (1987): 78–80.

Croneis, C. y N. Krahl. *Vaulted brick construction in Guadalajara.* Houston, Texas: School of Architecture, Rice University, 1966.

Choisy, Auguste. *El arte de construir en Roma.* Madrid: Instituto Juan de Herrera, CEDEX, CEHOPU, 1999.

Choisy se refiere expresamente el empleo de tabicados como cimbras en la construcción de las bóvedas de hormigón romanas.

De Miguel, Carlos. «La casa del pescador en Cartagena», *Revista Nacional de Arquitectura* 9 (1949): 200–206.

Ejemplo de construcción con bóvedas tabicadas.

Doménech y Estapá, José. «La fábrica de ladrillo en la construcción catalana», *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña* (1900): 37–48.

Estudio sobre el análisis de la estabilidad de las bóvedas tabicadas, basado en la consideración no sólo de la resistencia a compresión, sino también de la de tracción y cortante. Para ello compara líneas de empujes parabólicas con la forma de la bóveda y así el comportamiento estructural de la bóveda viene dado por la posición relativa de una y otra. Es interesante también la idea de que la naturaleza selecciona aquella línea de empujes parabólica que mejor se adapta a las cargas o a las circunstancias estructurales, como el máximo empuje que pueden resistir los estribos, y que además son posibles varios estados antes del colapso total de la estructura. Por último, muestra un método para el trazado geométrico de parábolas.

Enthoven, R. E. «Vaults without centering», *Architect's journal* 103, (11 de Abril de 1946): 284.

Conferencia sobre la reconstrucción de edificios italianos dañados en la II Guerra Mundial a base de bóvedas de rosca de ladrillo construidas sin cimbra.

Espie, Félix-François, comte d'. *Manière de rendre toutes sortes d'édifices incombustibles, ou traité sur la construction des voltes, faites avec des briques et du plâtre, dites voûtes plates, et d'un toit de brique, sans charpente, appelé comble briqueté.* Paris: Vve. Duchesne, 1754.

Después de fray Lorenzo de San Nicolás es el primer tratado teórico sobre la construcción tabicada, que D'Espie presenta por primera vez como construcción resistente al fuego. Se recogen las experiencias llevadas a cabo en Francia con esta técnica desde el siglo XVII y por el propio autor, que también hizo ensayos para probar la enorme resistencia de estas bóvedas. Además propone como nueva la idea de los *combles briquetes*, donde no sólo la bóveda sería tabicada sino el tablero del tejado y los tabiques entre ambos. En las láminas recoge detalles de edificios construidos en Francia donde también se observa la inserción de elementos metálicos en ciertos casos. El libro se tradujo a varios idiomas, en España a cargo de Sotomayor en 1776.

Espie, Félix- François, comte d'. *The manner of securing all sorts of buildings from fire...translated by L. Dutens.* London: Printed for and sold by H. Piers and Partner, 1756?.

Lemma, en la edición crítica de la obra de Espie, confirma que fue L. Dutens quien tradujo el tratado para complacer a su amigo W. Beckford, cuya casa se había destruido en un incendio y se reconstruyó con la técnica tabicada.

Espie, Félix-François, comte d'. *Abhandlung von unverbrennlichen Gebäuden und der Art und Weise wie solche vermittelst platter Gewölbe und Dächer..zu bauen sind, aus dem Französischen des Erfinders Herrn Grafen d'Espie..* Francfort et Leipzig: 1760.

Traducción al alemán del tratado del conde D'Espie sobre la construcción incombustible.

Espinosa, P.C. *Manual de construcciones de albañilería.* Facsímil. Madrid: Real Academia Española, Consejo General de la Arquitectura Técnica de España, D.L., 1991 (1ª ed. 1859).

Lo menciona Albarrán como uno de los pocos tratados dela época que anterior a su estudio mencionaban la construcción de bóvedas sin cimbra.

Farga Pellicer, Rafael. *Lecciones de Construcción curso de 1867 a 68.* S.l. Academia de Bellas Artes de Barcelona, s.a.

Ferre de Merlo, Luis. «Bóvedas nervadas en el Castillo de Villena (Alicante)».En *Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción,* 303–307. Madrid: Instituto Juan de Herrera, Universidad de Sevilla, CEHOPU, 2000.

Artículo sobre las bóvedas nervadas hispanomusulmanas del castillo de Villena, Alicante. Las plementerías de las bóvedas reconstruidas en 1958 son tabicadas y así se observa en las figuras.

Ferreras Fincias, F.J. «Las memorias del Cuerpo de Ingenieros Militares: Fuente para la historia de la construcción». En *Actas del Segundo Congreso Nacional de Historia de la Construcción,*165–171. Madrid: CEHOPU, Instituto Juan de Herrera,1998.

Interesante artículo sobre la labor de investigación científica desarrollada dentro del Ejército. El autor da una lista de publicaciones de interés en el campo de la historia de la construcción. Concretamente da noticia de la existencia del manuscrito de Ballesteros acerca de las bóvedas tabicadas.

Fitchen, John. «Some contemporary techniques of arch construction in Spain», *American Institute of Architects journal* 34 (1960): 32–34.

Foerster, M. *Manual del ingeniero constructor y del arquitecto.* Madrid: Espasa-Calpe, 1926.

Trata el tema de las bóvedas sin cimbra.

Folguera i Grassi, Francesc. «Les voltes de mahó de plá», Manuscrito inédito,ca.1915. COAC, Barcelona.

Muy interesante manuscrito donde se ensalzan las bóvedas tabicadas como construcción propia de Cataluña. Se habla del origen de la construcción sin cimbra a la que pertenece la tabicada. Después se describen materiales y procedimientos constructivos y se incluye documentación gráfica sobre obras catalanas coetáneas.

Fontaine, M.H. «Expériences faites sur la stabilité des voûtes en briques», *Nouvelles Annales de la Construction* 11 (noviembre de 1865): 149–159, lám. 45.

Ensayos sobre bóvedas de ladrillo.

Forest, Gabriel. «Manual I», 1414-1419. Archivo del Monasterio de Pedralbes.

Sobre las bóvedas tabicadas que se construyeron en el s. XV en el Monasterio de Pedralbes.

Forest, Gabriel. «Manual II», 1419-1421. Archivo del Monasterio de Pedralbes.

Fornés y Gurrea, Manuel. *Observaciones sobre la práctica del arte de edificar.* Valencia: 1841.

Muy interesante tratado práctico de construcción que presta una especial atención a la técnica tabicada: en las pp. 18–19 trata de Suelos de bóvedas tabicadas o de rosca»; en las pp. 19–25 de Bóvedas de escaleras», tabicadas, donde explica dos métodos para el trazado correcto de la curva de intradós, lám. 1, y analiza el problema de la intersección de tramos; en las pp. 25–27 trata de las Bóvedas de escaleras de caracol», realizadas también con tabicados. Después habla de la ejecución de bóvedas y cúpulas y explica el caso de las tabicadas, en concreto de la p. 46 a la 49, trata de las Instrucciones sobre la elaboración de las bóvedas tabicadas». Todas las láminas hacen referencia a esta técnica.

Fortea Luna, Manuel y V. López Bernal. *Bóvedas extremeñas: Proceso constructivo y análisis estructural de bóvedas de arista.* Badajoz: Colegio Oficial de Arquitectos de Extremadura, Delegación de Badajoz, 1998.

Contiene tablas para el dimensionado de las bóvedas de ladrillo.

Fortea Luna, M. y V. López Bernal. «Patología de bóvedas de doble curvatura». En *Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción,* 317–326. Madrid: Instituto Juan de Herrera, Universidad de Sevilla, CEHOPU, 2000.

Fowler, Charles. «(Paper about floors and roofs of tile)», *Journal of the Royal Institute of British Architects* (1836).

Frattaruolo, Maria Rosa. «Las bóvedas «in folio»: tradición y continuidad». En *Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción,* 327–334. Madrid: Instituto Juan de Herrera, Universidad de Sevilla, CEHOPU, 2000.

García-Gutiérrez Mosteiro, Javier. «El sistema de bóvedas tabicadas en Madrid: de Juan Bautista Lázaro (1849-1919) a Luis Moya (1904-1990)». En *Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción,* 231–241. Madrid: Instituto Juan de Herrera, CEHOPU, 1996.

García-Gutiérrez Mosteiro, Javier. «Los edificios abovedados de Luis Moya». En *Apuntes del curso sobre «Las grandes bóvedas hispanas», Madrid, 19 al 23 de mayo de 1997,* 33–40. Madrid: CEHOPU, Colegio de Aparejadores y A.T de Madrid,1998.

García-Gutiérrez Mosteiro, Javier. «Bóvedas tabicadas». En *Luis Moya Blanco. Arquitecto. 1904-1990,* 129–145. Madrid: Electa, 2000.

Ger y Lóbez, Florencio. *Manual de construcción civil.* Badajoz: Imp. José Santamaría, 1869.

Goday, Josep. *Estudi históric i métodes de cálcul de les voltes de maó de pla.* Barcelona: Académia Catalana de Belles Arts de Sant Jordi, 1934.

Completo estudio sobre la historia de las teorías sobre la mecánica de las bóvedas tabicadas desde Perrault y Bernini hasta las últimas teorías de la elasticidad. Dedica un apartado especial a Guastavino, cuyos resultados obtenidos en los ensayos e inclu ídos en su *Essay on the cohesive construction* reproduce en el primero de los apéndices.

González Moreno-Navarro, José Luis. «La bóveda tabicada. Su historia y su futuro». En *Teoría e historia de la rehabilitación,* 237–259. Madrid: Departamento de Construcción de la ETS Arquitectura de Madrid,1999.

Grimm, Clayford T. «Brick masonry shells», *Journal of the American Society of Civil Engineering. Structural Division,* (enero de1975): 79–95.

Gulli, R. *Le volte piatte. Le tecniche costruttive dai manuali del XIX secolo.* Ancona: Clua, 1990.

Gulli, R., Lemma, M., Tardella, G. «Traditional building methods: The scope for their present use. The flat-tile vaults». En *Atti del Convegno CIB-92, Congrés Mondial du Bâtiment.* Montreal:1992.

Gulli, R. «Le volte in folio portanti: Tecnica costruttiva ed impiego nell'edilizia storica e moderna». En *Atti del I Convegno Nazionale Manutenzione e Recupero nella Cittá Storica, ARCO*, 595–604. Roma: 1993.

Artículo sobre las bóvedas tabicadas, los ensayos de Guastavino y los últimos experimentos realizados por el autor en la Universidad de Ancona.

Gulli, R. «Il sistema tabicado. Una tecnica tradizionale per il recupero». En *Atti del Convegno Internazionale: Il recupero degli edifici antichi, manualistica e nuove tecnologie,* 198–208. Napoli: 1993.

Ponencia sobre los primeros ensayos realizados en la Facoltá di Ingegneria di Ancona para el estudio del comportamiento estático de las bóvedas tabicadas. Antes se pasa revista a las aportaciones teóricas y a los ensayos históricos, empezando por Guastavino y llegando a Luis Moya y Bergós.

Gulli, R. «Il ruolo della tecnica tabicada nell'architettura di Gaudí», *Parametro,* 197 (julio-agosto de 1993): 54–60.

Gulli, R. *L'esperienza architettonica e costrutiva del Movimiento Modernista Catalano, 1880-1920.* Ancona: Clua Edizioni Ancona, 1994.

Estudio sobre el movimiento catalán de principios del siglo XX, representado por Doménech y Montaner y por Gaudí. La bóveda tabicada fue la técnica característica del Movimiento.

Gulli, R. «Una ipotesi di intervento conservativo per il recupero delle volte in folio portanti». En *Atti del Convegno di Studi: La ricerca del recupero edilizio, Ancona,* 51–62. Bolonia: 1994.

Ponencia sobre los ensayos realizados en la Facoltá di Ingegneria di Ancona para el estudio del comportamiento estático de las bóvedas tabicadas. Mención de Guastavino como el primer estudioso de dicho comportamiento.

Gulli, R. *La memoria delle tecniche. Le Corbusier e la volta catalana.* Ancona: Clua Edizioni Ancona, 1994.

Libro muy interesante sobre la utilización de bóvedas tabicadas en el Movimiento Moderno, concretamente por Le Corbusier. Se dedica la primera parte del libro a las bóvedas tabicadas en general, donde Guastavino tiene un papel relevante. También se habla de la relación entre Gaudí y Le Corbusier.

Gulli, R. y Mochi, G. *Bóvedas tabicadas: Architettura e costruzione.* Roma: CDP Editrice, 1995.

Libro fundamental sobre la construcción tabicada con abundante información bibliográfica y fotográfica.

Gulli, R. y Mochi, G. «Ragione scientifica e sapere tecnico nella sperimentazione costruttiva catalana del primo novecento». En *La statica grafica: un linguaggio matematico per la scienza delle costruzioni. Convegno internazionale.* Genova: 1996.

Gulli, R.; L. Ramazzoti. «La volta catalana in alcune esperienze architettoniche del '900'», *AREA,* 35 (noviembre-diciembre de 1997): 68–73.

Breve estudio sobre el empleo de la bóveda tabicada en Cataluña a principios del siglo XX y su influencia en el Movimiento Moderno.Le Corbusier llamaba a las tabicadas «parafeuills au plaffonettes.»

Imbornone, P. *Elementi costruttivi in gesso.* Palermo: 1992.

Sobre la construcción de bóvedas tabicadas en Italia.

Joedicke, Jürgen. *Shell architecture.* Stuttgart: Karl Krömer Verlag, 1963.

Sobre la historia de las estructuras de cáscara. En pp. 10–11 menciona los ensayos de Gaudí en la Sagrada Familia.

Kolli, N. «Svodchatye perekrytiia bez kruzhal», *Arkhitektura SSSR* 2, 2 (1943): 21–26.

Raro artículo sobre la construcción de bóvedas construidas sin cimbra en la Unión Soviética durante los años 40. En las figuras aparece la descripción de una bóveda tabicada

Lathuilliere, Marcel. «Problems algeriens: Voûtes minces dites rhorfas», *L'Architecture d'Aujourd'hui* 16, 3 (septiembre-octubre de 1945): 32–35.

Bóvedas tabicadas construidas en Argelia. Habla de ensayos previos a su construcción y de la mejora estática que supone adoptar formas catenarias en lugar de parabólicas.

Laugier, M.A. *Essai sur l'architecture.* 2ª ed. Paris: Duchesne, 1755 (1ª ed. 1753. Anónima).

En el cap. 3, titulado "Considérations sur l'Art de bâtir", en el apartado dedicado a la solidez de los edificios, pp. 132–136, Laugier afirma que el contrarresto afeaba los edificios y la forma de eliminarlo era reducir el peso de las bóvedas. Una de las maneras de lograr esto era reducir el espesor, como en las bóvedas tabicadas sobre las que trataba el libro del conde D'Espie. Laugier resalta como una gran ventaja el hecho de que las bóvedas tabicadas no produjeran empuje, como había comprobado D'Espie en varios ensayos. Vuelve al final del libro, p. 274, a mencionar el interés de las afirmaciones de D'Espie acerca de las ventajas de este tipo de bóvedas.

Lemma, Massimo. *Dei tetti ammattonati. Nuova edizione critica del tratatto scritto da Félix François d'Espie (1754).* Venecia: Il Cardo, 1996.

Muy interesante la introducción previa y las notas de Lemma a la reproducción facsímil del tratado del conde D'Espie. Además incluye una traducción al italiano impresa en paralelo al original francés.

Lemmonier, H. *Proces verbaux de l'Académie Royal d'Architecture.* Paris: 1915.

Recoge este libro los debates que tuvieron lugar en l'Académie Royal d'Architectura. En el s. XVIII encontramos una memoria sobre las bóvedas del Rosellón leída por Tannevot el 19 de junio de 1747 ante la Académie Royale d'Architecture, es decir, por primera vez se plantea la validez de la construcción tabicada en Francia de forma oficial. El 3 de julio los miembros de la Academia, después de discutir el tema, acordó registrar dicha memoria pero sin concederle aprobación oficial. Después en la memoria se habla de la introducción de la técnica tabicada en Francia, que tuvo lugar a través de la región del Langüedoc y el Rosellón francés y de los primeros edificios conventuales donde se utilizó, así como del método para construirlas. Termina la memoria con un resumen de las cuestiones técnicas planteadas a la Academia por Duplessy el 18 de agosto de 1740 sobre la construcción de las bóvedas tabicadas de ladrillo y yeso. Según Collins el tema se volvió a tratar de 1747 a 1755 hasta que finalmente el 28 de abril de 1755 los académicos franceses se inclinaron por la construcción de ladrillo tradicional después de ver toda una serie de modelos, memorias y ensayos.

Little, George P. «Practice before 1925», *Sound Ideas* (1963): 55–57.

Sobre la colaboración entre Sabine y Guastavino para el desarrollo de materiales con propiedades de absorción acústica.

Loomis, John A. *Revolution of forms. Cuba's forgotten art schools.* New York: Princeton Architectural Press, 1999.

Sobre las Escuelas Nacionales de Arte construidas en Cuba tras la revolución de 1959 en las que el elemento constructivo básico empleado fue la bóveda tabicada.

Loyer, François. *Jugendstil in Katalonien.* Cologne: Benedikt Taschen Verlag, 1997.

Menciona al ingeniero Torras i Guardiola por su papel indirecto en el redescubrimiento de las bóvedas catalanas por los experimentos que llevó a cabo a partir de 1871.

Marconi, P. et al. *Manuale del recupero del Comune di Roma.* Roma: DEI, 1989.

Sobre la construcción de bóvedas tabicadas en Italia.

Mars, G.C. *Brickwork in Italy.* Chicago: 1925.

Martin I. «Carta real de Martín I», 1407. Archivo de la Corona de Aragón. Reg. 2251, fol. 88 verso.

Documento significativo sobre el origen de la construcción tabicada en Aragón.

Martorell, Jerónimo. «Estructuras de ladrillo y hierro atirantado en la arquitectura catalana moderna», *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña* (1910): 119–146.

Interesante artículo sobre las estructuras tabicadas y los tirantes de hierro. Incluye una breve reseña histórica sobre el primer empleo del hierro en obras de fábrica. Después analiza una serie de ejemplos concretos, en su mayor parte situados en Cataluña con datos constructivos concretos y dimensiones de los diferentes elementos; en casi todos se empleo una doble cáscara tabicada. En la parte final breve apartado dedicado al cálculo estructural de los arcos a base de líneas de empujes.

Misuraca, G. y M.A. Boldi. *L'arte moderna del fabbricare.* Milano: ca. 1900.

En él se inspiró Sugrañés.

Moya Blanco, Luis. «Bóvedas tabicadas», *Boletín de Información de la Dirección General de Arquitectura* 2, 3 (junio de 1947): 9–12.

Moya Blanco, Luis. *Bóvedas tabicadas.* Madrid: Ministerio de la Gobernación. Dirección General de Arquitectura, 1957.

Obra muy significativa publicada en un momento de recuperación de la técnica tabicada en Madrid. El libro comienza tratado los tipos de bóvedas; construcción, geometría; cálculo de bóvedas y contrarresto. En la parte final se incluye un apartado dedicado a obras tabicadas realizadas en el extranjero, con una especial atención a la obra de Guastavino, cuya obra conoció a través del álbum de fotos de la empresa que el propio Guastavino entregó a Mariano Belmás en 1904 para el Congreso Internacional de Arquitectos celebrado en Madrid. Por último incluye documentación sobre su propia obra.

Murray, P. *L'architettura del rinascimento italiano.* Bari: 1986.

Sobre la arquitectura en Volterra en el s. XVI, pp. 26–27.

Muñoz, A.C. «Brick vaults built without centers», *The Brickbuilder* 6 (febrero-marzo de 1897): 27–29, 49–51.

Extracto en inglés, con aportaciones personales del autor, del artículo publicado por Albarrán en *Anales de la Construcción y de la Industria* (1885) sobre la construcción de bóvedas sin cimbra, tabicadas y por rebanadas.Menciona a Guastavino y su construcción tabicada al comienzo del artículo, al que Albarrán no citaba, y reinterpreta algunas de las figuras del artículo de éste.

M. «Bovedillas para suelos», *Anales de la construcción y de la industria* 10 (1885): 21.

Olivier, M.A. d' «Relatif á la construction des voltes en briques posées de plat, suivi du recherches expérimentales sur la poussée deces sortes des voltes», *Annales des Ponts et Chaussées* 1 serie (1 semestre de 1837): 292–309, pl. 129.

Interesantísimo ensayo sobre las bóvedas tabicadas. En la primera parte se describen los materiales y procedimiento constructivo, donde llama la atención el empleo de ladrillos con sección en U y dispuestos en forma machihembrada, que representa en varias figuras. Después hace un cálculo detallado del coste por metro cuadrado de este tipo de bóvedas. La segunda parte se centra en la realización de ensayos sobre bóvedas de 4 m de luz en tramos de 6,85 m para demostrar no sólo la existencia de empuje en este tipo de bóvedas sino también su valor mediante la utilización de un dispositivo especial con dinamómetros.

Paredes Guillén, Vicente. «Construcción sin cimbra de las bóvedas de ladrillo con toda clase de morteros». Manuscrito inédito, 1883.

Sobre las bóvedas de rosca de ladrillo extremeñas.

Pereda Bacigalupi, Angel. *Bóvedas tabicadas. Cálculo y ejemplos resueltos.* Santander: Editorial Cantabria, 1951.

Obra muy completa sobre el cálculo de bóvedas tabicadas desde el punto de vista de la elasticidad. Tras una breve reseña histórica se ocupa con gran detalle del problema de las acciones de viento; después estudia las características de los materiales, ladrillo, mortero y hierro; después considera dos tipos de cálculo, inductivo y deductivo, incluyendo nueve tablas para facilitar el análisis.

Perrault, Charles. *Memories de ma vie.* Paris: 1909.

Según Collins en la pp. 63 ss. se mencionan los ensayos realizados por Bernini y Claude Perrault en 1665 para la construcción del Louvre con los que pretendían demostrar cuál era el mejor método para construir las fábricas del edificio, el italiano o el francés. La fábrica cohesiva de Bernini falló a causa de los morteros y las inclemencias del tiempo por lo que Perrault resultó vencedor con su construcción de cantería. Sin embargo, no hay mención expresa a que la bóveda italiana pudiera ser tabicada.

Piccinnini, M. «Il recupero dell'edilizia rurale nella Pianura bolognese». En *Atti del Convegno di Studi: La ricerca del recupero edilizio, Ancona.* Bolonia: 1994.

Sobre el hallazgo de bóvedas tabicadas de cañón y vaídas en la construcción rural tradicional de Bolonia.

Planella Roura, Macario. «Lecciones de construcción explicadas por el catedrático don Juan Torras Guardiola. 4ª Asignatura de la carrera de maestros de obras, aparejadores y agrimensores». Manuscrito, octubre de1860. Cátedra Gaudí, Barcelona.

Pollés i Vivó, Buenaventura. «Apuntes de construcción tomados de las lecciones y explicaciones dadas en clase por el profesor de la asignatura Leandro Serrallach: curso de 1876 a 77». Manuscrito, 1877.

Apuntes sobre materiales de construcción. Menciona el tipo de ladrillo «con corchetes» de invención francesa para corregir la dilatación del yeso.

Ponce Ortiz de Insagurbe, Mercedes. «La bóveda tabicada como mejora higiénica y económica en la construcción militar de acuartelamientos. El Cuartel de la Puerta de la Carne (Sevilla)». En *Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción,* 853–857. Madrid: Instituto Juan de Herrera, Universidad de Sevilla, CEHOPU, 2000.

Sobre la sustitución de los entramados de madera en los cuarteles militares por estructuras de fábrica, concretamente, las bóvedas tabicadas, incombustibles y de bajo coste por la posibilidad de prescindir de cimbras. Las figuras hacen referencia al Cuartel de la Puerta de la Carne en Sevilla donde se construyeron bóvedas vaídas y de arista tabicadas.

Puig Boada, Isidro. «La estructura mecánica del Templo de la Sagrada Familia», *Cúpula* 39 (enero de 1953): 746–748, 754.

Ráfols i Fontanals, J. F. *Pere Blay i l'arquitectura del renaixement a Catalunya.* Barcelona: Assoc. d'Arquitectes de Catalunya, 1934.

Bóvedas tabicadas en el Renacimiento. Sobre la construcción de la iglesia de La Selva i Mestre por Pere Blay en 1582, con el documento original donde se dice que las bóvedas habían de ser tabicadas.

Ramaswamy, G.S. «Funicular brick shell roofs for industrial buildings». En *Designing, engineering and constructing with masonry products,* 251–256. Houston, Tex.: Gulf Publishing Co.,1969.

Rank, Max. «Die Jahre 1948-1962». En *Hundert Jahre Rank. 1862-1962,* 57–67. München: Buchdruckerei Franz Schmid, 1962.

La empresa constructora Rank importó, después de la segunda guerra mundial, la técnica tabicada para la reconstrucción delas numerosas bóvedas de fábrica destruidas durante la guerra. En el libro se hace mención de algunas de sus intervenciones en importantes edificios muniqueses como la Residenz, la Pinacoteca y la Augustinerkirche entre otras, cuya bóveda de cañón tabicada con lunetos se muestra en la última figura. Este interesante episodio de la historia de la construcción tabicada no ha sido estudiado todavía en detalle.

Renart i Closes, J. «Quincenarios». Manuscrito inédito, 1809. Archivo Renart XXVIII 1–7, Biblioteca Central de Catalunya.

Manuscrito de un maestro de obras catalán encargado de las murallas de Barcelona donde se recogen textos de manuales de la época, como el de D'Espie o Benito Bails, de frecuente manejo para el autor y ejemplos de su experiencia constructiva en edificios con construcción tabicada de Cataluña. El manuscrito estaba dedicado a su hijo y contiene un Suplemento con cartas dirigidas a éste.

Rieger, P. Christino. *Elementos de toda la architectura civil, con las más singulares observaciones de los modernos.. los quales aumentados por el mismo, da traducidos al castellano el P. Miguel Benavente, maestro mathematico en el mismo colegio.* Madrid: Joachim Ibarra, 1763.

Menciona el tratado del conde D'Espié sobre la construcción incombustible tabicada y habla de la generalización de su uso en el Rosellón, de donde pasó al Langüedoc y de ahí al resto de Francia

Rondelet, J. *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir.* Paris: Chez M. A. Rondelet fils, 1832 (1ª ed. 1802-1810).

En el volumen 4 de la sección 3, capítulo 2, titulado Des voûtes en briques», pp. 281–293, láms. 67–69, Rondelet habla de las bóvedas tabicadas y estudia edificios coetáneos como el Ministerio de la Guerra, en Versalles, así como los ensayos realizados por el mariscal de Belle-Isle o el conde D'Espie. Por último trata las bóvedas de vasos cerámicos. Sebasa en el tratado de Blondel-Patte sin aportar novedades significativas.

Rosell, J. et al. *Construcció i revolució industrial a Catalunya.* Barcelona: Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya, 1979.

Rosell, J. y Serrá, I. «Els estudis d'Esteve Terrades sobre la volta de maó de pla». En *Cinquanta anys de ciéncia i técnica a Catalunya,* 23–33. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans,1987.

Artículo sobre las investigaciones de Terradas acerca de las bóvedas tabicadas aplicando la teoría de la elasticidad.

Rowntree, Diana. «The new architecture of Castro's Cuba», *The Architectural Forum* (abril de 1964): 122–125.

Sobre las Escuelas Nacionales de Arte construidas en Cuba tras la revolución de 1959 en las que el elemento constructivo básico empleado fue la bóveda tabicada.

Rubió Tuduri, Santiago. *Cálculo funicular del hormigón armado.* Buenos Aires: Gustavo Gili, 1952.

Aplicación del método de cálculo funicular para bóvedas de Gaudí al hormigón armado. En uno de los primeros capítulos titulado "Las bóvedas catalanas inspiran la mecánica de Gaudí", pp. 38–45, habla de los dos tipos de bóvedas más frecuentes como propias de Cataluña: las escaleras y los forjados de bovedillas, y explica las razones de su gran resistencia y estabilidad, que se podrían verificar con los métodos de Gaudí. En el último párrafo de este capítulo el autor cita a Guastavino como el introductor de la técnica tabicada en Estados Unidos e incluye tres fotografías de la escalera de la fábrica Batlló, así como un párrafo de un tratado de construcción de 1932 publicado por Gay y Parker sobre el sistema Guastavino. El capítulo siguiente trata de "Ensayos de bóvedas y soleras catalanas", pp. 46–48, donde se mencionan los ensayos del propio autor, sobre todo en Francia, y los de la Comandancia de Ingenieros del Ejército, en Barcelona hacia 1895, comentados después en el Memorial de Ingenieros del Ejército.

Rubió Tuduri, Santiago. «La teoría mecánico-constructiva de Gaudí en la arquitectura moderna». En *Jornadas internacionales de estudios gaudinistas,* 13–16. Barcelona: Editorial Blume,1970.

R. E. «Building vaults without centering», *Architect's journal* 103 (11 de abril de 1946): 284.

San Nicolás, Fray Lorenzo de. *Arte y uso de architectura. Primera parte.* Madrid: s.n., 1639.

En la parte dedicada a bóvedas fray Lorenzo expone los diversos sistemas para construirlas, y siempre empieza por el tabicado. Da instrucciones precisas sobre el procedimiento constructivo a seguir para cada tipo de bóveda y confirma la práctica habitual de construir bóvedas tabicadas en Castilla en el siglo XVII. Indicaciones precisas sobre la construcción de lengüetas y costillas.

Sánchez Leal, José. «Supervivencia de las bóvedas autosostenidas de rosca y tabicadas extremeñas». En *Apuntes del curso sobre «Las grandes bóvedas hispanas», Madrid, 19 al 23 de mayo de 1997,* 107–113. Madrid: CEHOPU, Colegio de Aparejadores y A.T de Madrid,1998.

Sattler-München, Carl. «Leichtgewölbe in Italien», *Das Bauwerk* 1 (enero de 1941): 1–5, 37–41.

Ensayos constructivos sobre bóvedas tabicadas de arista, con lunetos, etc.

Sattler-München, Carl. «Leichtgewölbebau». En *Steinverbande und Gewolbebau aus kunstlichen Steinen,* 87–98. München: Verlag Hermann Rinn,1948.

Sobre la construcción de bóvedas ligeras. Incluye tablas.

Siguret, Philippe. «Les voûtes plates», *Gypsum* (1963): 94–98.

Soto Hidalgo, Joaquín del. «Bóvedas tabicadas». En *Enciclopedia de la Construcción,* tomo 3, 196–203. 2ª ed. Madrid: Talleres del Instituto Geográfico y Catastral,1959.

Definición y tipos de bóvedas tabicadas con interesantes dibujos del proceso constructivo.

Sotomayor, Joaquín de. *Modo de hacer incombustibles los edificios sin aumentar el coste de la construcción. Extractado del que escribió en francés el Conde de Espié.* Madrid: Oficina de Pantaleón Aznar, 1776.

Extracto traducido al castellano del libro del conde D'Espie. Incluye una censura previa de Ventura Rodríguez donde advierte del error cometido tanto por D'Espie como por Sotomayor al afirmar que las bóvedas tabicadas no producían empujes y lo justifica en las observaciones de los agrietamientos habituales en este tipo de

bóvedas, como los de una bóveda normal. Después le sigue una introducción de Sotomayor donde reconoce que su traducción no es literal y que la ha aumentado con su propia experiencia, distinguiendo en el texto la traducción de sus propios comentarios.

Storz, Sebastian. «Zur Funktion von keramischen Wölbröhren im römischen und frühchristlichen Gewölbebau», *Architectura* 14 (1984): 89–105.

Sobre bóvedas construidas sin cimbra a base de vasos cerámicos insertados unos en otros.

Storz, Sebastian. *Tonröhren im antiken Gewölbebau. Mit einer Rekonstruktion des Schalungstragwerkes für die Trompengewölbe der Kobbat Bent el Rey in Karthago* Mainz am Rhein: Verlag Philipp von Zabern, 1994.

Sobre la construcción de bóvedas sin cimbra a base de vasos cerámicos en la Antigüedad.

Sugrañés Gras, Domingo. *Tratado completo y teórico de arquitectura y construcción modernas.* Barcelona y Buenos Aires: M. Bordoy, ca. 1916.

Muy interesante el apartado dedicado a "bóvedas tabicadas" en el capítulo 4 sobre Arcos y bóvedas, pp. 342–344, láms. 83–84 y el que trata sobre "escaleras a la catalana o con bóvedas tabicadas" en el capítulo 7 sobre Escaleras, p. 460, lám. 144. En ambos casos explica con detalle el proceso constructivo cuyo éxito atribuye fundamentalmente a la pericia de los albañiles. Sobre todo hace referencia a la aplicación de la técnica tabicada en los edificios fabriles de Cataluña y menciona el éxito obtenido por esta construcción en América sin mencionar a Guastavino. Se inspiró en el libro de Misuraca (1900).

Tarragó Cid, Salvador. «Hacia la elaboración de un catálogo de estructuras tabicadas en Catalunya», *Revista de Obras Públicas* (febrero-marzo de 1980):131–136.

Terradas, Esteban. «La llibreta della volta». Manuscrito inédito.

Apuntes de Terradas sobre su trabajo de investigación acerca del comportamiento estructural de la bóveda tabicada, que él consideró como estructura elástica. Entre los datos, sin orden sistemático, aparece información sobre los ensayos que realizó.

Tomlow, Jos. «Die Kuppel des Giesshauses der Firma Henschel in Kassel (1837). Eine frühe Anwendung des Entwurfsverfahrens mit Hängemodellen», *Architectura* 23 (1993): 151–172.

Tomlow, Jos. «Dr. Pierre Cuypers & Sohn & Co. und ihre Rolle bei der Entwicklung vom Gewölbe zur Schale in den Niederlanden um 1900», *Architectura* 27 (1997): 40–60.

Torroja Miret, Eduardo. *Razón y ser de los tipos estructurales.* Madrid: CSIC, 1998.

Breve mención a las bóvedas tabicadas, ante cuyo comportamiento estructural reconoce su admiración, pp. 234–236.

Truñó-Rusiñol, Ángel. «Construcción de bóvedas de rasilla tabicadas». Mecanoscrito inédito, 1967. Barcelona.

Monografía sobre la construcción de bóvedas tabicadas con descripción de procedimientos y obras realizadas hasta 1967 en Cataluña utilizando esta técnica. Abundante información gráfica.

Vallette, Roger. *Considérations sur les voltes minces autoportantes et leur calcul.* Paris: Imp. de Vaugirard, 1934.

Extrait du Génie civil, 27 janvier 1934

Viollet-le-Duc, E. «Voûte». En *Dictionnaire raisonnée* 9, 465–467. Paris: A. Morel, 1874.

Viollet menciona las bóvedas tabicadas de su época en su artículo sobre las bóvedas. Concretamente al hablar de la construcción romana las compara con la primera capa de ladrillos que se colocaba como cimbra para el vertido posterior del hormigón y permitía reducir las cimbras propiamente dichas de hormigón. Incluso dice en una nota que a veces los romanos utilizaron yeso en esa primera capa. Según Collins estaba en la misma línea que Choisy.

Von Lassaulx. «Beschreibung des Verfahrens bei Anfertigung leichter Gewölbe über Kirchen und ähnlichen Räumen», *Journal für die Baukunst* 1, 4 (1829): 317–330, lám. 18.

Wattjes, J.G. *Constructie van Gebouwen.* Amsterdam: 1922-1923.

Wild. «Über die toscanischen Gewölbe, «Volterrane» genannt», *Zeitschrift für Bauwesen* 5 (1855): 182–183.

Breve artículo sobre las bóvedas a la «Volterrana» en la zona de la Toscana.

Woolson, Ira H. «An important test of fireproof construction», *The Brickbuilder* (1905): 33–36.

Ensayos sobre bóvedas de bloques cerámicos de unos 15 cm de espesor y capa de compresión de hormigón armado, para medir su resistencia al fuego y la aplicación posterior de cargas. El ensayo fue llevado a cabo por la Pittsburg Terminal Warehouse and Transfer Company, que iba construir cuarenta viviendas en Pittsburg.

III. Varia

A monograph of the works of McKim, Mead & White: 1879-1915. New York: Da Capo Press, Inc., 1985.

Lista de los maestros de obras que con título oficial ejercen la profesión en la ciudad de Barcelona durante el año económico de 1871 a 1872. Barcelona: 1871.

Wallace Clement Sabine Centennial Symposium, proceedings: Cambridge, Massachusetts, USA, 5 to 7 June, 1994. New York: Acoustical Society of America, 1994.

Collins, George R. «Articles by Peter Wight». Mecanoscrito. Guastavino Archives, Avery Library, Columbia University, New York.

Es una bibliografía de los artículos escritos por Wight en distintas revistas de su época. Wight se interesó entre otros temas por el de la construcción antiincendios y en la bibliografía del presente catálogo se recogen sus artículos sobre la vida y obra de Guastavino.

Crasemann Collins, Christinane. «George R. Collins: A bibliography. Preliminary draft of an annotated bibliography for inclusion in the forthcoming George R. Collins Festschrift», 22 de noviembre de 1986. Mecanoscrito. Guastavino Archives, Avery Library, Columbia University, New York.

Borrador previo de una bibliografía sobre las publicaciones de George R. Collins elaborado a su muerte por su esposa.

Davis, Don. «The Sabine reverberation equation and its offspring», *Audio 62* (agosto de 1978): 57.

Primer encargo de acondicionamiento acústico que recibió Sabine en el Fogg Museum, en la Universidad de Harvard.

Dolkart, Andrew S. *Morningside Heights: a history of its architecture and development.* New York: Columbia University Press, 1998.

Zona de Manhattan donde se levantan St. John the Divine, Riverside church y la Universidad de Columbia donde intervino Guastavino.

Flores, Carlos. «Memoria de ausentes: George R. Collins (1917-1993)», *Arquitectura* 297 (1994): 101.

Giedion, Siegfried. *La mecanización toma el mando.* (1ª ed. Oxford: Oxford University Press, 1948). Barcelona: Gustavo Gili, 1978.

Sobre la importancia de las patentes en Estados Unidos en el siglo XIX.

González y Sugrañes, Miguel. *Contribució a la historia dels antichs gremis dels arts y oficis de la ciutat de Barcelona.* Barcelona: Heinrich & Co., 1915.

Gumá, R. «Origen i evolució dels edificis de la industria textil a Catalunya (1818-1925)». Tesis doctoral, UPC, Barcelona,1998.

Hall, Edwin H. «Wallace Clement Sabine», *The Harvard Graduates Magazine* (1919): 1–7.

Es una reimpresión.

Heyman, Jacques. *Teoría, historia y restauración de estructuras de fábrica.* Madrid: Instituto Juan de Herrera, 1995.

Klare, Michael. «A cronological list of publications by Peter B. Wight». Mecanoscrito, abril de 1967. Guastavino Archives, Avery Library, Columbia University, New York.

Es una bibliografía de los artículos escritos por Wight en distintas revistas

Knudsen, V.O. *Architectural acoustics.* New York: John Wiley & Sons, 1932.

Knudsen, V.O. y Harris, C. M. *Acoustical designing in architecture.* New York: John Wiley & Sons, 1950.

Little, George P. «Sabine and the dawn of acoustic», *Sound Ideas* (1963): 27–30.

Martinell Brunet, C. «El Anuario de la antigua Asociación de Arquitectos», *Cuadernos de Arquitectura* 4, 7 (mayo de 1947): 42–45 (322–325).

Mc Andrew. *Open-air churches of 16th century Mexico.* Cambridge: 1965.

Orcutt, W. D. *Wallace Clement Sabine: A study in achievement.* Northwood, Massachusetts: Plimpton, 1933.

Ponce Ortiz de Insagurbe, Mercedes. «Las fuentes documentales para el estudio de la historia de la construcción militar de los siglos XVIII y XIX». En *Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción,* 859–868. Madrid: Instituto Juan de Herrera, Universidad de Sevilla, CEHOPU, 2000.

Interés desde el punto de vista de la investigación sobre la construcción tabicada realizada en el seno del Ejército, aunque directamente no menciona ninguna referencia directamente relacionada con el tema.

Prudon, Th.H. «Deafening: An early form of sound insulation», *APT (Association of Preservation Technology) Bulletin* 7 (1975): 5–13.

Rubió i Bellver, Juan. «Dificultats per a arribar a la sintessis arquitectónica», *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña* (1913): 63–79.

Muy interesante artículo sobre el proyecto de las estructuras de fábrica y el perfeccionamiento que supone la adopción de formas catenarias. Gaudí fue un ejemplo de esta evolución. También habla de los métodos gráficos y los modelos para el estudio del equilibrio y por tanto la elección de la forma arquitectónica.

Sabine, W.C. «Architectural acoustics I: Introduction», *The American Architect and Building News* (7 de abril de 1900): 3.

Primer encargo de acondicionamiento acústico que recibió Sabine en el Fogg Museum, en la Universidad de Harvard.

Sabine, W.C. «Architectural acoustics VII: Reverberation: Calculation in advance of construction», *The American Architect and Building News* (16 de junio de 1900): 83.

Sabine, W.C. «Architectural acoustics: The correction of acoustical difficulties», *The Architectural Quarterly of Harvard University* (marzo de 1912): 3–23.

Sabine, W.C. «Building material and musical pitch», *The Brickbuilder* 23, 1 (enero de1914): 1–6.

Sabine, W.C. *Collected papers on acoustics.* Cambridge: 1922.

Guastavino aparece mencionado en algunos lugares en relación con el acondicionamiento acústico de los edificios como the United States Military Academy at West Point, pp. 199 y ss.

Sanz, J. A. y J. Giner. *L´arquitectura de la industria a Catalunya: Els segles XVIII-XIX.* Terrassa: Escola Tecnica Superior de Arquitectura del Vallés, 1984.

Sobrino Simal, Julián. *Arquitectura industrial en España, 1830-1990.* Madrid: Cátedra, 1996.

Soler i Módena, Rosa. *Catáleg del fons bibliográfic Esteve Terradas.* Barcelona: Institut d´Estudis Catalans, 1994 [i.e. 1995].

Stern, Robert A. M., Thomas Mellins y David Fishman. *New York 1880: Architecture and urbanism in the gilded age.* New York: Monacelli Press, 1999.

Periodo de inmigración en Nueva York, pp. 10–11.

Sterne, Michael. «Exploring McKim´s Manhattan», *The New York Times* (20 de agosto de 1976).

Watson, Floyd R. *Acoustics of buildings.* New York: John Wiley & Sons, 1930.

Tablas de valores SAC de diversos materiales obtenidos por Sabine, p. 28.

Wermiel, S. *The fireproof building: Technology and public safety in the nineteenth-century American city.* John Hopkins UP, 2000.

Cita las investigaciones de Peter B. Wight sobre la construcción incombustible, y entre otras la de la empresa Guastavino.